



(12) **PATENT**

(11) **345367**

(13) **B1**

NORGE

(19) **NO**

(51) **Int Cl.**

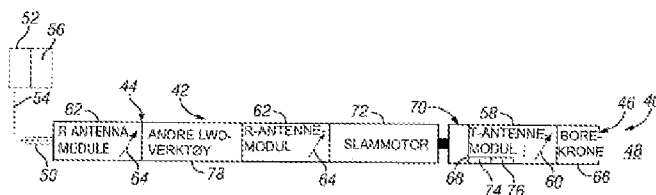
G01V 3/28 (2006.01)

G01V 3/30 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20181671	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2008.08.22 PCT/US2008/074007
(22)	Inng.dag	2018.12.21	(85)	Videreføringsdag	2018.12.21
(24)	Løpedag	2008.08.22	(30)	Prioritet	2007.08.27, US, 60/968,275
(41)	Alm.tilgj	2010.05.25			
(45)	Meddelt	2021.01.04			
(62)	Avdelt fra	20100450, 2010.03.26			
(73)	Innehaver	Schlumberger Technology B.V., Parkstraat 83-89, 2514JG HAAG, Nederland			
(72)	Oppfinner	Emmanuel Legendre, 11100 Holly Springs Drive, TX77042 HOUSTON, USA Reza Taherian, 2950 Jenny Drive, TX77479 SUGAR LAND, USA Jean Seydoux, 530 Nottingham Oaks Trail, TX77079 HOUSTON, USA			
(74)	Fullmektig	BRYN AARFLOT AS, Stortingsgata 8, 0161 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Foroverseende loggesystem			
(56)	Anførte publikasjoner	US 2003184302 A1, US 2006011385 A1, US 2006038571 A1, US 2003076107 A1, US 2008143336 A1, US 6188222 B1			
(57)	Sammendrag				

En metode anvender frembringelse av data fra ønskede undergrunnsområder ved hjelp av et loggesystem. Loggesystemet er konstruert for bruk i en brønnboring og omfatter en sendermodul med en senderantenne. Videre anvender loggesystemet en mottakermodul som er anordnet i en avstand fra sendermodulen og har en mottakerantenne. Senderantennen og mottakerantennen er orientert for å muliggjøre følsomhet i ønskede retninger, for eksempel foran loggesystemet.



BAKGRUNN

[0001] I forskjellige brønnrelaterte operasjoner blir logging utført for å frembringe informasjon vedrørende undergrunnsmiljøet der en brønnboring blir dannet. Et loggeverktøy blir utplassert nedihulls inne i brønnboringen med en rekke

5 forskjellige følere for å frembringe data som er nyttige for å forstå og nyttiggjøre seg av brønnen. I noen anvendelser anvendes logging-under-boring-metoder for å frembringe data mens en brønnboring blir boret. Imidlertid kan eksisterende loggesystemer ha begrenset evne til å frembringe informasjon fra visse områder i undergrunnsmiljøet, for eksempel områder foran eller forover fra loggesystemet.

10 US 2003/0184302 A1 beskriver et elektromagnetisk brønnloggingsinstrument som omfatter minst en senderantenne og to mottakerantennner, som er aksialt adskilte fra senderantennen.

US 2006/0011385 A1 beskriver en resistivitetsanordning med et modulært design som omfatter en sendermodule som er plassert på aksial avstand fra en

15 mottakermodule på drillstrengen.

OPPSUMMERING

[0002] Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer et logging-under-boring-system ifølge krav 1, en fremgangsmåte for å detektere og måle ett eller flere undergrunns trekk ifølge krav 9 og en fremgangsmåte for å detektere og måle ett eller flere

20 undergrunns trekk ifølge krav 29. Fremgangsmåten egnest for å frembringe data fra ønskede undergrunnsområder ved hjelp av et loggesystem. Loggesystemet er konstruert for bruk i en brønnboring, og anvender en sendermodul med en senderantenne. Videre omfatter loggesystemet en mottakermodule med en

25 mottakerantenne, og mottakermodule er plassert i en avstand fra sendermodule. Senderantennen og mottakerantennen er orientert for å muliggjøre følsomhet i ønskede retninger, så som foran loggesystemet.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

30 [0003] Utvalgte utførelsesformer av oppfinnelsen vil i det følgende bli beskrevet under henvisning til de vedlagte tegningene, der like referansenummer angir like elementer og der:

- [0004] Figur 1 viser en resistivitetsgruppe ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0005] Figur 2 viser en resistivitetsgruppe ifølge en annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 5 [0006] Figur 3 viser eksempler på undersøkelsesdyp for en amplitudemåling ved 10 kHz gjort med forskjellige avstander mellom sender og mottaker ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0007] Figur 4 viser en resistivitetsgruppe ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 10 [0008] Figur 5 viser en resistivitetsgruppe ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0009] Figurene 6A og 6B viser amplituderesponser for tradisjonelle resistivitetsgrupper fra kjent teknikk;
- [0010] Figurene 6C og 6D viser amplituderesponser for resistivitetsgrupper ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 15 [0011] Figur 7 viser en sekvenseringsmetode ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0012] Figur 8 viser en resistivitetsgruppe ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 20 [0013] Figur 9 viser en antennemodul ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0014] Figurene 10A - 10F viser forskjellige målinger for en plan grenseflate med resistivitetskontrast ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- [0015] Figur 11 er en skjematisk illustrasjon av et loggesystem for å frembringe data vedrørende et undergrunnsmiljø, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 25 [0016] Figur 12 er en skjematisk illustrasjon tilsvarende den i figur 11, men viser et annet eksempel på systemet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;
- 30 [0017] Figur 13 er en skjematisk illustrasjon tilsvarende den i figur 11, men viser et annet eksempel på systemet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0018] Figur 14 er en skjematisk illustrasjon tilsvarende den i figur 11, men viser et annet eksempel på systemet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

5 [0019] Figur 15 er en skjematisk illustrasjon tilsvarende den i figur 11, men viser et annet eksempel på systemet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0020] Figur 16 er en representasjon som definerer en elektromagnetisk koblingstensor og illustrerer hvordan den forholder seg til antenneorienteringer, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

10 [0021] Figur 17 er en modellrepresentasjon av loggesystemet anvendt i en hovedsakelig vertikal brønn, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0022] Figur 18 er en modellrepresentasjon av loggesystemet anvendt i en hovedsakelig horisontal brønn, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

15 [0023] Figur 19 er en grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet i en hovedsakelig vertikal brønn, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0024] Figur 20 er en grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet i en hovedsakelig horisontal brønn, ifølge en utførelsesform av
20 foreliggende oppfinnelse;

[0025] Figur 21 er en skjematisk representasjon av et eksempel på loggesystem som anvender et system med tre sendere og én mottaker, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

25 [0026] Figur 22 er en grafisk fremstilling som illustrerer bruk av skråstilte retningsbestemte sender-(TX)- og mottaker-(RCV)-antenner, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0027] Figur 23 er en grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et nedover-steget resistivitetsprofil for et gitt sett av parametere, ifølge en utførelsesform av
30 foreliggende oppfinnelse;

[0028] Figur 24 er en annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et

nedover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0029] Figur 25 er en annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et nedover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0030] Figur 26 er en annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et nedover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0031] Figur 27 er en annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et oppover-steget resistivitetsprofil for et gitt sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0032] Figur 28 er en annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et oppover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0033] Figur 29 er et annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et oppover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0034] Figur 30 er et annen grafisk fremstilling av resultater matet ut av ett eksempel på loggesystemet som illustrerer verktøyfølsomhet i tilknytning til et oppover-steget resistivitetsprofil for et annet sett av parametere, ifølge en

utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0035] Figur 31 er en grafisk fremstilling av foroversynsrekkevidde som funksjon av TX/RCV-avstand for dempning og faseskift med hensyn til både oppover-stegede og nedover-stegede resistivitetsprofiler, ifølge en utførelsesform av

foreliggende oppfinnelse;

[0036] Figur 32 er en grafisk fremstilling vedrørende et eksempel på loggesystemet med hensyn til dempningsområde-følsomhet med henblikk på resistivitetsnivåer og kontrast for et nedover-steget formasjonsresistivitetsprofil ved

to forskjellige overføringsfrekvenser, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

5 [0037] Figur 33 er en grafisk fremstilling som illustrerer deteksjonsrekkevidde og nedover-stegede resistivitetsprofiler ved to resistivitetskontraster, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0038] Figur 34 er en grafisk illustrasjon som viser eksempler på nedover-stegede profiler og annen informasjon vedrørende bruk av ett eksempel på loggesystemet, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

10 [0039] Figur 35 er en grafisk fremstilling som illustrerer eksempler på resultater som kan oppnås med bruk av loggesystemet vedrørende anisotropi og relativ helling av formasjonen, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0040] Figur 36 er en grafisk fremstilling som illustrerer eksempler på målinger som funksjon av fire forskjellige strukturelle hellinger, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

15 [0041] Figur 37 er en grafisk fremstilling som illustrerer eksempler på målinger matet ut av loggesystemet som representerer bestemmelse av underjordiske trekk, så som nærhet og eksistens av forurenset sand (dirty sand position), ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

20 [0042] Figur 38 er en grafisk fremstilling som illustrerer eksempler på målinger matet ut av loggesystemet som representerer estimer av lagtykkelse, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0043] Figur 39 er et flytdiagram som representerer ett eksempel på fremgangsmåte for å frembringe data med loggesystemet der direkte inversjon blir anvendt, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

25 [0044] Figur 40 er et annet flytdiagram som representerer et eksempel på fremgangsmåte for å frembringe data med loggesystemet der direkte inversjon anvendes, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

30 [0045] Figur 41 er en skjematisk illustrasjon av et eksempel der foroverseende inversjon anvendes av loggesystemet for å bestemme informasjon vedrørende undergrunnsmiljøet, ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

[0046] Figur 42 er en skjematisk illustrasjon av et annet eksempel der foroverseende inversjon anvendes av loggesystemet for å bestemme informasjon

vedrørende undergrunnsmiljøet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse; og

[0047] Figur 43 er en skjematisk illustrasjon av et annet eksempel der foroverseende inversjon anvendes av loggesystemet for å bestemme informasjon vedrørende undergrunnsmiljøet, ifølge en alternativ utførelsesform av foreliggende oppfinnelse.

DETALJERT BESKRIVELSE

[0048] I den følgende beskrivelsen er en rekke detaljer angitt for å gi en forståelse av foreliggende oppfinnelse. Imidlertid vil det forstås av fagmannen at foreliggende oppfinnelse kan praktiseres uten disse detaljene og at en rekke variasjoner eller modifikasjoner av de beskrevne utførelsesformene kan være mulig, som faller innenfor beskyttelsesomfanget av de vedlagte kravene.

[0049] Utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører resistivitetsgrupper med forbedrede egenskaper. Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører fremgangsmåter for bruk av disse verktøyene ved formasjonsevaluering.

Utførelsesformer av oppfinnelsen kan muliggjøre inversjon for mer kompliserte formasjonsmodeller (dvs. formasjonsmodeller med flere parametere) og/eller kan bedre robustheten ved inversjon av resistivitetsmålinger (reducere usikkerhet). Noen utførelsesformer av oppfinnelsen kan øke fleksibiliteten ved evaluering av en formasjons resistivitet ved å tilveiebringe flere målinger, som hver kan ha forskjellig respons til forskjellige formasjonsmodeller.

[0050] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen tilveiebringer resistivitetsgrupper med en modulær oppbygning. Den modulære oppbygningen letter oppsett av forskjellige verktøyutforminger for forskjellige målingskrav. For eksempel kan en ved å utvide antallet sender/mottaker-kombinasjoner (for eksempel en utførelsesform med fire sendere og én mottaker, som danner fire sendere/én mottaker-grupper) oppnå et større underselsesdyp.

[0051] Noen utførelsesformer ikke ifølge oppfinnelsen kan omfatte antenner som kan tjene som transceiver (dvs. som sender og mottaker). Dette gir ytterligere fleksibilitet i verktøyutformingen. I denne utførelsen kan en med det samme antall moduler oppnå et større antall sender/mottaker-kombinasjoner. Videre kan en oppnå symmetrisering av retningsmålinger uten å øke verktøyets lengde, på en

måte tilsvarende den publiserte US-patentsøknaden 2003/0085707 A1, av Minerbo m.fl.

5 [0052] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører verktøy med en senderkomponent plassert langt fra mottakeren (f.eks. > 27,40 meter (90 fot)) for å muliggjøre selektiv følsomhet for reservoarkompleksitet. En slik utførelsesform kan ha en uavhengig drevet senderkomponent plassert utenfor (langt vekk fra) en tradisjonell bunnhullsenhet.

[0053] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører plassering av en sender på eller inne i borkronen, eller veldig nær borkronen, for foroverseende funksjon.
10 En slik utførelsesform kan ha et uavhengig drevet system og muliggjøre datakommunikasjon.

[0054] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører å ha minst én modul anordnet i en separat brønn eller et separat borehull.

15 [0055] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører fremgangsmåter ved evaluering av formasjonsresistivitet som anvender målefrekvenser spesielt tilpasset til den forventede formasjonen. Frekvensområdet kan for eksempel være opptil 200 KHz.

[0056] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører å kombinere moduler ifølge oppfinnelsen med eksisterende LWD-resistivitetsgrupper.

20 [0057] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører spoleutførelser som har flere viklinger for å muliggjøre bruk av den samme antennen for et stort område av frekvenser. De flere viklingene kan være koblet i serie eller i parallell.

[0058] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører utvidelse av amplitudemålingen til fase, relativ fase og amplitude så vel som faseskift og dempning (forplantning) som krever at en komponent omfatter to
25 mottakarantenner med en forholdsvis stor innbyrdes avstand, i størrelsesorden 3,5 meter (10 fot).

[0059] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører realisering av retningsbestemte antenner (anordnet på samme sted eller nær ved hverandre)
30 med eller uten metallavskjerminger.

Verktøymodularitet

[0060] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører resistivitetsgrupper med modulær oppbygning. Med en "resistivitetsgruppe" menes her en oppstilling som omfatter minst én mottakermodul og minst én sendermodul festet på forskjellige steder på en borestreng. Den modulære oppbygningen gjør at sender- og mottakerantennene kan bli plassert på forskjellige steder inne i en bunnhullsenshet (BHA), eller på steder i borestrengen ovenfor bunnhullsensheten. For eksempel viser figur 1 en resistivitetsgruppe omfattende fire sendermoduler 21, 22, 23, 24 og én mottakermodul 25 anordnet blant andre LWD- eller MWD-verktøy 27, 28, 29, 30 i en BHA. Ved å sette inn sender- og/eller mottakermoduler på forskjellige steder på en standard BHA, som vist i figur 2, eller en borestreng, kan spesifikke undersøkelsesdyp realiseres for å optimalisere prosessen med å invertere formasjonsmodellen som anvender disse dype resistivitetsmålingene. For eksempel kan i én utførelsesform sendermodulen 21 befinne seg fra omtrent 27,4 til 30,5 meter (90 til 100 fot) fra mottakermodulen 25. I tillegg kan én eller flere moduler anordnes i et nærliggende borehull for å danne en gruppe med store innbyrdes avstander.

[0061] Oppfinnerne bak foreliggende oppfinnelse har funnet at en for stor økning av avstanden mellom en sender- og en tilhørende mottakerantenne gjør det vanskelig for en mottaker å fange opp og koble signalene fra en sender. Utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse kan anvende en triaksial antenne i en sender- eller mottakermodul, der den triaksiale antennemodulen har tre antenner med magnetiske momenter i tre forskjellige retninger. Den triaksiale antennemodulen vil sikre at i hvert fall noen av de transversale komponentene til den triaksiale antennen kan danne betydelig kobling med transversalkomponenten på en tilhørende sender eller mottaker. Bruk av en transceiver (eller mottaker) med triaksial antenne er fordelaktig fordi at når borestrengen settes sammen, det ville være vanskelig å sikre at en sender med én enkelt antenne vil bli linjeført med en mottaker med én enkelt antenne, og dette problemet øker etter hvert som avstanden øker. Til motsetning vil transceiveren (eller mottakeren) med triaksial antenne alltid ha en komponent som er tilnærmet linjeført med det magnetiske momentet til en tilhørende mottaker (eller transceiver) i resistivitetsgruppen. I tillegg muliggjør tre akser bestemmelse av formasjonsegenskaper så som hellingsvinkel, anisotropi, sidebergartseffekter.

[0062] Figur 3 viser eksempler på undersøkelsesdyp for en 10 kHz amplitudemåling oppnådd med sender/mottaker-avstander på 3,05, 9,15, 18,30 og 27,4 meter (10, 30, 60 og 90 fot) i nærvær av en grenseflate med en resistivitetskontrast på 1 til 10 ohm. Borestrengen (og således resistivitetsgruppen) er antatt å være parallell med grenseflaten og i forskjellige avstander vekk fra grenseflaten. Som kan sees i figur 4 er ikke gruppen med innbyrdes avstand 3,05 meter veldig følsom for grenseflaten; den viser bare små størrelsesendringer i nærheten av grenseflaten. Gruppen med innbyrdes avstand 9,15 meter er mer følsom, og viser en klar overgang i grenseflaten. Gruppen med innbyrdes avstand 18,3 meter er enda mer følsom; den viser en veldig tydelig overgang i resistiviteten rundt grenseflaten. Med denne avstanden mellom sender og mottaker begynner signalets magnitude å endre seg ved omtrent 6,10-12,20 meter (20-40 fot) vekk fra grenseflaten. Med gruppen med innbyrdes avstand 27,4 meter er endringen i signalets magnitude enda større. Det er tydelig at kombinasjon av forskjellige undersøkelsesdyp gjør det mulig å skille geologiske formasjoner med forskjellig radiell avstand. Den modulære oppbygningen gjør det enkelt å innrette verktøyene for forskjellige innbyrdes avstander i gruppen. Videre øker bruk av én eller flere triaksiale antenner som sendere og/eller mottakere den innbyrdes avstanden som kan oppnås, noe som gir en tilhørende økning i undersøkelsesdyp (DOI).

20

Modulære komponenter som transceivere

[0063] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører design av resistivitetsgrupper med sender/mottaker-antenner. I disse verktøyene er ikke antennene konstruert som separate sendere eller mottakere. I stedet kan én og samme antenne fungere som enten sender eller mottaker. En slik forbedring, i tillegg til å være økonomisk fordelaktig, muliggjør mer undersøkelsesdyp for det samme antallet komponenter, som illustrert i figur 2.

25

[0064] Figur 2 viser en verktøyenhet 40 med tre komponenter 41, 42, 43 som danner to grupper med innbyrdes avstand D og $Dx2$. Siden antennene 41 og 43 kan fungere som sender eller mottaker, er en tredje gruppe med innbyrdes avstand $Dx3$ også tilgjengelig med denne verktøyutførelsen. Med transceiver-antennene kan videre retningsmålinger også bli utført uten at det er nødvendig at sender og mottaker tilhører et felles nedihullsverktøy. For eksempel kan et sett av

30

symmetriserte målinger frembringes først med antenne 41 som sender og antenne 43 som mottaker, og så med antenne 43 som sender og antenne 41 som mottaker.

5 **Fjerne komponenter som sender/transceivere**

[0065] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører verktøy med antennekomponenter plassert langt vekk fra andre BHA-verktøy (f.eks. mottakerne eller senderne). Brønner har ofte svinger og bøyer som begrenser den praktisk mulige lengden til en BHA. Følgelig kan ikke tradisjonelle resistivitetsverktøy ha sendere og mottakere plassert lenger fra hverandre enn den praktiske lengdebegrensningen for bunnhullsenheten (omtrent 46 meter (150 fot)). Slike verktøy er ikke i stand til å gi det undersøkelsesdypet som kan være nødvendig ved plassering av en brønnbane innenfor et reservoar med en tykkelse som overstiger den maksimale praktisk mulige lengden til en standard boreverktøyenhet.

[0066] Figur 4 viser en resistivitetsgruppe som innlemmer en fjern komponent ifølge én utførelsesform av oppfinnelsen. Som vist omfatter resistivitetsgruppen en tradisjonell UDR (Ultra Deep Resistivity) 51 i BHA-en. UDR-en omfatter tre antenner (sendere, mottakere eller transceivere) 52, 53, 54. Videre opp borestrengen omfatter resistivitetsgruppen også en fjern modul 55, som omfatter en sender, en mottaker eller en transceiver. Antennen i den fjerne modulen 55 kan brukes med en hvilken som helst av antennene 52, 53, 54 til å danne en gruppe med stor innbyrdes avstand. Ved å anvende en fjern modul 55 med andre tradisjonelle resistivitetsverktøy i bunnhullsenheten, kan sender/mottaker-avstand (dvs. innbyrdes avstand i gruppen) settes til en hvilken som helst ønsket avstand. Den fjerne modulen 55 kan være uavhengig drevet. Videre kan den fjerne modulen 55 for eksempel bli aktivert ved hjelp av trådløs telemetri. I én utførelsesform kan ett eller flere vektør 63 være anordnet mellom den fjerne modulen 55 og én eller flere av antennene 52, 53, 54.

[0067] Posisjonen til den fjerne modulen 55 kan velges i samme størrelsesorden som (eller større enn) reservoarets tykkelse. Det å ha en innbyrdes avstand innenfor gruppen i samme størrelsesorden som (eller større enn) reservoarets

tykkelse kan gi særskilte fordeler som ellers er utilgjengelig for tradisjonelle resistivitetsverktøy.

[0068] For eksempel viser figurene 6C og 6D at amplituderesponsene til den lange gruppen (der den innbyrdes avstanden er i samme størrelsesorden som lagtykkelsen, 39,6 meter (130 fot)) er mye enklere og tydelig angir hvor laggrensene er. Responsene til denne ekstra lange gruppen (spesielt ved lave frekvenser) er ikke følsom for reservoarets indre kompleksitet. Til motsetning, som kan sees i figurene 6A og 6B, er amplituderesponsen til tradisjonelle resistivitetsgrupper fra kjent teknikk (der den innbyrdes avstanden er mindre enn lagtykkelsen, 39,6 meter) mer følsom for resistivitetsvariasjoner innenfor laget, men mindre følsom for laggrenser. Resultater fra figurene 6A- 6D viser at føleravstander (innbyrdes avstand innenfor gruppen) og driftsfrekvenser med fordel kan velges basert på egenskapene til reservoaret som bores, for eksempel forventet lagtykkelse eller forholdet mellom laveste reservoarlagresistivitet og resistiviteten til takbergartene og reservoarbunnen.

Foroverseende funksjon med komponenter ved borkronen

[0069] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører resistivitetsverktøy med evne til å se forover. Ifølge utførelsesformer av oppfinnelsen kan en komponent bli plassert nær ved borkronen på en måte tilsvarende den beskrevet i US-patentet 6,057,784 meddelt til Schaff m.fl., og overdratt til samme som foreliggende oppfinnelse. Videre kan en antenne også bli plassert på et roterende styrbart verktøy eller direkte inne i en borkrone. Ved at en transceiver plasseres ved borkronen blir resistivitetsmålepunktet tatt midt mellom hvert sender/mottaker-par flyttet nærmere borkronen, og muliggjør således kortere reaksjonstid under boring. Denne muligheten muliggjør tidligere iverksettelse av tiltak i sanntid for å posisjonere brønnen basert på geologiske hendelser. Videre er det også mulig å se foran borkronen ved å anvende verktøyresponshalen som går forbi et par av resistivitetsfølere.

[0070] Figur 5 viser ett eksempel på en resistivitetsgruppe ifølge én utførelsesform av oppfinnelsen. Som vist omfatter resistivitetsverktøyet en borkrone 14 ved den ene enden av borestrengen. En antenne 73 (som kan være en sender- eller en mottakerantenne) er anordnet på borestrengen nær ved borkronen 14. I tillegg

omfatter resistivitetsgruppen en UDR 51 med tre transceiver-moduler 52, 53, 34, som kan fungere som mottakere eller sendere. Selv om tre transceiver-moduler er vist i dette eksempelet, vil fagmannen forstå at et slikt verktøy kan ha flere eller færre transceiver-moduler. Videre kan mottaker- eller sendermoduler erstatte én eller flere av transceiver-modulene. I én utførelsesform kan antennen 73 være en komponent av borkronen 14.

[0071] Ifølge noen utførelsesformer av oppfinnelsen har antennen 73 nær borkronen et ikke langsgående magnetisk moment, dvs. at det magnetiske momentet til antennen 73 ikke står i en retning som er parallell med

borestrengaksen. Det ikke langsgående magnetiske momentet til antennen 73 sikrer at antennen 73 har en komponent av det magnetiske momentet i

tversgående retning (dvs. retningen vinkelrett på borestrengaksen). Videre

omfatter minst én av transceiver-modulene (f.eks. 52, 53, 54) en triaksial antenne, der tre antenner har magnetiske momenter med tre forskjellige orienteringer. I

noen tilfeller kan de triaksiale antennene ha magnetiske momenter i tre ortogonale retninger. Den triaksiale antennemodulen vil sikre at i hvert fall noen av transversalkomponentene til den triaksiale antennen kan danne betydningsfull kobling med transversalkomponenten av antennen 73 nærmest borkronen.

Antennen 73 nærmest borkronen kan være en sender, en mottaker eller en

transceiver. I alminnelighet er det foretrukket at antennen 73 nærmest borkronen er en sender fordi en mottakerantenne vil kunne se kraftigere elektrisk støy fra økt vibrasjon og rystelser eller fra mulig tilstedeværelse av et høyeffekt, roterende styrbart verktøy. Som følge av dette kan motorenheten 16, som kan omfatte motordrevne styringskomponenter, forstyrre en mottakerantenne.

Multifrekvent måling

[0072] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører verktøy og

fremgangsmåter som anvender flere frekvenser for resistivitetsmåling. Ifølge

utførelsesformer av oppfinnelsen kan frekvenser velges slik at de mer effektivt

dekker frekvensspekteret for å bedre nøyaktigheten og øke fleksibiliteten ved

invertering av dype resistivitetsmålinger. For eksempel, ifølge noen

utførelsesformer av oppfinnelsen, kan målinger bli samlet inn med en fordeling på 3 eller flere frekvenser for hver dekad (intervall som spenner over en faktor 10).

Disse frekvensene kan bli satt eller valgt automatisk, enten før boring eller under boring, for å gi optimal formasjonsinversjon. Kombinasjonen av sender/mottaker-avstand med frekvens er en vesentlig del av bestemmelse av et reservoars ytre grenser med komplekse indre lag. Kombinasjonen av antenneavstand og frekvens blir fortrinnsvis valgt slik at den tar hensyn til følgende likning for maksimal følsomhet.

[0073] La oss definere gangkoeffisienten k som: $k^2 = \epsilon\mu\omega^2 + i\sigma\mu\omega$, der ϵ er elektromagnetisk permittivitet, μ er elektromagnetisk permeabilitet, σ er konduktivitet og ω er vinkelfrekvens. Dersom L representerer avstanden mellom sender og mottaker, ønsker vi at: $|k| \cdot L \in [0,1;10]$. Frekvensene velges fortrinnsvis slik at de oppfyller dette kriteriet.

[0074] De multifrekvente målingene kan effektivt utføres med bruk av et hvilket som helst gjennomføringsskjema kjent for fagmannen. For eksempel viser figur 7 et eksempel på resistivitetmålingssekvens for multifrekvent måling. I skjemaet vist i figur 7 er alle TX-pulsene antatt å ha styrt amplitude. Videre vil fagmannen vite at i pulsskjemaet, som vist i figur 7, én enkelt puls kan anvendes for å bære to eller flere frekvenser. Signalmålinger kan utføres ved å måle de sanne spenningene som avføles av mottakerne. Alternativt kan signalene bli målt som differanssignaler mellom et par av pulser med forskjellig frekvens.

Kombinasjon av komponenter med eksisterende LWD-verktøy

[0075] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører resistivitetsgrupper som har fjerne komponenter, som beskrevet over, sammen med andre tradisjonelle resistivitetsverktøy. For eksempel viser figur 8 et verktøy omfattende to fjerne komponenter med sendere 55A og 55B og et tradisjonelt LWD-resistivitetsverktøy som kan fungere som mottakere for de fjerne sendermodulene for å danne arrayer med innbyrdes avstander som er mye lengre enn det som er mulig med tradisjonelle resistivitetsgrupper. Fagmannen vil forstå at et hvilket som helst tradisjonelt resistivitetsverktøy med én eller flere antenner for å motta resistivitetssignaler kan anvendes sammen med sendere på fjerne komponenter som beskrevet her. Muligheten til å kjøre sendermoduler i kombinasjon med et eksisterende "grunt" LWD-verktøy (med bruk av deres resistivitetsantennene som

dype resistivitetsmottakere) muliggjør kostnadsrasjonalisering og integrert målefunksjon.

Antenne med flere viklinger

- 5 [0076] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører antenner som kan anvendes effektivt over et bredt frekvensområde. Når en antenne anvendes for å sende ut et resistivitetssignal med en gitt frekvens, er antennen mest effektiv når frekvensen er lavere enn antennens egenresonansfrekvens. Når en gitt antenne blir anvendt over et bredt frekvensområde kan antennen derfor være lite effektiv i
- 10 enkelte frekvensområder. For eksempel, for å sende med den høyeste frekvensen, bør antallet viklinger i antennen være lite nok til at den er lavere enn spolens egenfrekvens. For å være optimal ved overføring på en lavere frekvens, må imidlertid antallet viklinger økes. Som følge av dette har tradisjonelle antenner ofte viklinger som representerer et kompromiss for det tiltenkte området av
- 15 driftsfrekvenser.
- [0077] Ifølge noen utførelsesformer av oppfinnelsen kan en antenne ha flere lag av viklinger; hvert av lagene kan være enten koblet i parallell for høy frekvens eller i serie for en lavere frekvens for effektivt å balansere impedansbelastningen på antennen når den drives med konstant spenning. Skifte mellom seriell og parallell
- 20 funksjon kan være styrt elektronisk.
- [0078] Figur 9 viser et eksempel på antenne ifølge én utførelsesform av oppfinnelsen. Et spolelag 101A-101C, i dette eksempelet, er enten koblet i serie for å maksimere antallet viklinger ved overføring på lav frekvens (for eksempel i området rundt 1 kHz), eller er koblet i parallell for et høyere frekvensområde (for
- 25 eksempel 100 kHz). Spolelagene 101A-101C er omspunnet rundt en stamme 102. Fagmannen vil vite at flere lag av spoler vil kunne anvendes i en antenne for å muliggjøre en finere innstilling av antennens ytelse.

Utvidelse til andre resistivitetsmålingsmetoder

- 30 [0079] Tradisjonelle dype resistivitetsmålinger, så som den beskrevet i US-patentet 6,188,222, er basert på en induksjonsmekanisme og måler signalamplitude, ikke fase eller faseskift eller dempning. Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører dype resistivitetsmålinger basert på en

propageringsmekanisme og måler faseskift og dempning (dvs. differansmålinger) ved å innføre en ekstra mottakerantenne med en avstand mellom mottakerparet i størrelsesorden 1,5 til 3 meter (5 til 10 fot), som er betydelig lengre enn avstanden mellom mottakerparet (typisk begrenset til mindre enn 30 cm) i et tradisjonelt propageringsverktøy. Den større avstanden mellom mottakerparet er ønskelig på grunn av de lavere frekvensene som anvendes for dyp EM-måling (1 til 200kHz). En avstand mellom mottakerparene i størrelsesorden 1,5 til 3 meter vil sikre at det minste faseskiftet som kan måles ligger i området $\sim 0,1$ grader.

[0080] I tillegg til å anvende et mottakerpar kan differansemålinger i fase og amplitude (dvs. faseskift og dempning) også bli utført med et passende pulsskjema, så som det vist i figur 7. Måleskjemaet vist i figur 7 kan anvende én (eller flere) av de utsendte pulsene ved en gitt frekvens som tidsreferanse. Antatt en konstant fasereferanse (eller tidsdifferanse) mellom pulser i pulstoget (denne tidsdifferansen kan også bli målt og kommunisert til mottakeren ved hjelp av trådløs telemetri), kan fasereferansen (eller tidsdifferansen) for de mottatte pulstogene bestemmes med hensyn til referansepulsen.

[0081] Den samme metoden (som anvender amplituden til en referansepuls for sammenlikning) kan også anvendes på amplitudeforholdet mellom hver puls i pulstoget og referansepulsen. I dette tilfellet kan amplitudeforholdet ved senderen bli holdt konstant eller målt. Differansemetoden i pulsankomsttid og amplitudeforhold reduserer målingens avhengighet av nøyaktig luftkalibrering, som kreves for amplitudemålingen.

[0082] Som et eksempel viser figurene 10A - 10F forskjellige målinger for en plan grenseflate med en resistivitetskontrast på 1 og 100 ohm, med bruk av et verktøy med en sender/mottaker-avstand på 21,3 meter (70 fot). Dette verktøyet har sender- og mottakerantenner med langsgående magnetiske momenter (dvs. magnetiske momenter i retning parallelt med verktøyets lengdeakse).

[0083] Figur 10A og figur 10B viser henholdsvis amplitudemålinger og relative amplitudemålinger, ved forskjellige frekvenser. I figur 10B er de relative amplitudemålingene i forhold til amplitudemålingen ved 2 KHz. Figur 10C og figur 10D viser henholdsvis fasemålinger og relative fasemålinger, ved forskjellige frekvenser. I figur 10D er de relative fasemålingene i forhold til fasemålingen ved 2 KHz.

[0084] Figur 10E og Figur 10F viser henholdsvis faseskiftmåling og dempning, ved forskjellige frekvenser, som målt med et par av mottakere med en innbyrdes avstand på 2,44 meter (8 fot). Med en slik mottakeravstand kan en tydelig observere betydelige variasjoner i faseskift og dempning. Begge målingene gir et
5 annet sett av målinger med forskjellig følsomhet, noe som gjør det mulig å anvende mer uavhengige målinger under inversjonsprosessen.

[0085] Noen utførelsesformer av oppfinnelsen vedrører geostyring. En fremgangsmåte ved geostyring ifølge utførelsesformer av oppfinnelsen kan anvende en hvilken som helst resistivitetsgruppe beskrevet over og/eller anvende
10 en målemetode beskrevet over (f.eks. multifrekvente målinger, bruk av et pulsskjema, etc.).

[0086] Alle målinger med de ovenfor beskrevne utførelsesformer av oppfinnelsen kan bli utvidet til retningsmålinger. Retningsmålinger muliggjør økt følsomhet for grenseflatene og vil forbedre inversjonsprosessen følgelig. I noen utførelsesformer har antennen(e) en transversal magnetisk dipol kombinert med en normal "aksiell" antenne for å besørge begge målingene fra samme antenne. I en triaksial antenne, som omtalt over, kan én del være linjeført med bunnhullsenhetens akse mens de andre to delene er skråstilt i forhold til denne. Tradisjonelle avskjerminger kan også bli anvendt med utførelsesformer av oppfinnelsen som ønsket. Det vil
15 forstås at antennene (og tilhørende elektronikk) i utførelsesformene av oppfinnelsen kan realiseres med bruk av én av mange velkjente antenneutførelser og innpakkingssystemer. For eksempel kan loggeapparatet beskrevet i U.S.-patentet 6,188,222 anvendes for å realisere foreliggende oppfinnelse.

[0087] Selv om utførelsesformene beskrevet her illustrerer logging-under-boring-verktøy som en hjelp til å forklare forskjellige utførelsesformer av oppfinnelsen, er ikke et verktøy ifølge oppfinnelsen begrenset til noen konkret føringsmåte. Et verktøy ifølge oppfinnelsen kan således anvendes for eksempel under operasjoner som logging-under-boring, logging-under-tripping, kveilrørboring, logging gjennom borkronen, forlengningsrørboring, føringsrørboring.
25

[0088] Ifølge en alternativ utførelsesform av oppfinnelsen letter et annet system og en annen fremgangsmåte frembringelse av data vedrørende et undergrunnsområde. For eksempel kan et foroverseende logging-under-boring-system anvendes for å lette deteksjon og måling av forskjellige trekk og
30

egenskaper i undergrunnen. Logging-under-boring-systemet kan "se forover" ved å frembringe data fra områder foran logging-under-boring-systemet, for eksempel under boring av en brønnboring.

5 [0089] Figur 11 illustrerer et eksempel på et system 40 som anvendes for å utføre loggingsoperasjoner i en brønnboring 42 ifølge én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. I den illustrerte utførelsesformen omfatter systemet 40 et logging-under-boring-system 44 kombinert med et verktøy, så som en bunnhullsenhet 46. Bunnhullsenheten 46 kan omfatte en borkrone 66 som anvendes for å bore brønnboringen 42 samtidig med logging av et undergrunnsområde 48 der
10 brønnboringen 42 dannes.

[0090] I den illustrerte utførelsesformen kan bunnhullsenheten 46, omfattende logging-under-boring-systemet 44, bli ført nedihulls ved hjelp av en føringsanordning 50. Føringsanordningen 50 kan være i form av borerør, kveilrør eller en annen passende type føringsanordning. Videre kan systemet 40 omfatte
15 et styresystem 52 koblet til logging-under-boring-systemet 44 via en passende kabelbasert eller trådløs kommunikasjonslinje 54. Som et eksempel kan styresystemet 52 omfatte et datamaskinbasert styresystem for å behandle data mottatt fra logging-under-boring-systemet 44. Dataene/prosessresultatene kan bli vist for bruk av en operatør på en passende fremvisningsanordning 56, så som en
20 dataskjerm, anordnet på overflaten.

[0091] I eksempelet i figur 11 omfatter logging-under-boring-systemet 44 en sendermodul 58 med en senderantenne 60 og en mottakermodul 62 med en mottakerantenne 64. I det konkrete eksempelet som er illustrert omfatter logging-under-boring-systemet 44 flere, f.eks. to, mottakermoduler 62. Sendermodulen 58 og mottakermodulen eller -modulene 62 er anordnet på atskilte steder langs bunnhullsenheten 46, og avstanden er valgt for å gi et ønsket undersøkelsesdyp. Sendermodulen 58 befinner seg nær ved en borkrone 66 på bunnhullsenheten 46. For eksempel kan sendermodulen 58 være anordnet på en komponent 68 bak en borkrone 66 eller på annen måte nær ved borkronen. Med et slikt system blir et
25 målepunkt (tatt som midtpunktet mellom sendermodul 58 og mottakermodul 62) skjøvet mot borkronen 66 på en måte som ikke bare gir radiell følsomhet, men også følsomhet foran senderantennen 60.

[0092] I utførelsesformen illustrert i figur 11 og i andre utførelsesformer beskrevet nedenfor kan forskjellige antenneoppstillinger anvendes. For eksempel kan sendermodulen 58 ha en skråstilt antenne 60. Bruk av en skråstilt antenne innebærer at det magnetiske dipolmomentet ikke er linjeført med verktøyaksen, f.eks. bunnhullsenhetens akse, og det magnetiske dipolmomentet er heller ikke vinkelrett på verktøyaksen. Mottakermodulen 62 kan også anvende en skråstilt antenne 64, eller dens antenne 64 kan omfatte en aksiell antenne der dens magnetiske dipolmoment peker langs verktøyets akse eller vinkelrett på verktøyaksen. I én nyttig utførelsesform er det totale antall antenner i sender- og mottakermodulene fire, og mange oppstillinger av disse fire antennene er mulige. [0093] Selv om antennene er beskrevet med hensyn til magnetiske dipolantenner, kan antennene 60, 64 også omfatte elektriske dipolantenner. Som et eksempel kan magnetiske dipolantenner, så som spoler, anvendes i induksjons- og/eller propageringsmålinger. Elektriske dipolantenner kan anvende elektroder og/eller toroider. Avhengig av den konkrete anvendelsen kan rollen til senderantennene og mottakerantennene bli byttet om.

[0094] Utførelsesformen av systemet 40 illustrert i figur 11 plasserer sendermodulen 58 rett bak borkronen 66. Som et eksempel kan sendermodulen 58 og antennen 60 bli lagt i en borkroneboks 70 på en slammotor 72 som anvendes for å drive borkronen 66. Det skal bemerkes at hver sendermodul 58 også kan omfatte én eller flere følere 74 og tilhørende elektronikk 76 som strømforsynes gjennom en utvendig eller innvendig ledning eller av et innsatt batteri. Logging-under-boring-systemet 44 kan i tillegg innlemme en rekke forskjellige andre moduler 78, som kan omfatte en rekke forskjellige verktøy eller følere avhengig av den konkrete loggeoperasjonen som forventes for en gitt anvendelse.

[0095] I figur 12 er en tilsvarende utførelsesform illustrert der borkronen 66 drives av et roterende styrbart system 80. Som et eksempel kan utførelsesformene illustrert i figurene 11 og 12 plassere følere 74, f.eks. elektromagnetiske følere, rett bak borkronen 66 eller ha dem integrert med borkronen 66. I alternative utførelsesformer kan føleren eller følerne 74, sammen med den tilhørende elektronikken 76, være anordnet direkte på det roterende styrbare systemet 80, som illustrert i figur 13, eller på slammotoren 72, som illustrert i figur 14. I

utførelsesformene beskrevet over kan en rekke forskjellige antenner bli anvendt. For eksempel kan senderantennen 60 være dannet som en triaksial TX-antenne og mottakerantennene 64 kan være dannet som triaksiale RCV-antenner. De tilhørende følerne kan være enkeltstående følere eller kombinasjoner av induksjons-/propageringsfølere og/eller laterologfølere. I en annen utførelsesform illustrert i figur 15 er antennene toroidale, elektriske dipolantenner som kan være spesielt nyttige for brønner som bores med oljebasert slam. I denne utførelsesformen eller andre utførelsesformer kan ytterligere komponenter, så som en sentreringsenhet 82, være innlemmet i bunnhullsenheten 46.

[0096] I alminnelighet er det å ha senderantenner ved borkronen nyttig fordi kraft vanligvis er lettere tilgjengelig. For eksempel anvender et roterende styrbart system ofte en turbin som kraft kan tas fra. Videre forventes mottakerantenner anordnet på eller nær ved borkronen å ha høyere støy enn vanlige logging-under-boring-verktøy på grunn av det mer vibrerende miljøet (mikrofonisk støy) på eller nær borkronen og på grunn av den betydelige mengden elektrisk kraft som vanligvis brukes av det roterende styrbare systemet.

[0097] En retningsbestemt antenne er en antenne med et dipolmoment som ikke er linjeført med verktøyaksen. Med én eller flere retningsbestemte senderantenner 60 anordnet på eller nær borkronen 66, kan målinger bli gjort som er følsomme for trekk foran senderantennen og borkronen. Ofte blir spenningsmålinger gjort for amplituden og fasen til spenningen induisert ved mottakerantennene 64 av et signal fra én eller flere senderantenner 60. Spenningen er proporsjonal med retningen og absoluttverdien til sendernes og mottakernes dipolmomenter via en elektromagnetisk koblingstensor. Koblingstensoren avhenger av frekvensen til det utsendte signalet, avstanden mellom sender og mottaker og formasjonsparametrene.

[0098] I figur 16 er det vist en illustrasjon for å definere en elektromagnetisk koblingstensor og for å vise hvordan den forholder seg til antenneorienteringene. I eksempelet i figur 16 peker Z-aksen langs verktøyaksen, og X- og Y-aksen står vinkelrett på hverandre og på Z-aksen. Den første bokstaven i koblingstensorkomponenten svarer til retningen til mottakerens dipolmoment, og den andre bokstaven svarer til retningen til senderens dipolmoment. Etter at spenningsmålinger er gjort og orienteringen og størrelsen til sender- og

mottakerantennenes dipolmomenter er kjent, kan den elektromagnetiske koblingstensen bestemmes. For å avlede egenskaper ved trekkene foran borkronen 66 kan en anvende den elektromagnetiske koblingstensen, eller den elektromagnetiske koblingstensen kan bli transformert til dens motsvarende formasjonsparametertensor, for eksempel en konduktivitetstensor, som så kan bli anvendt for å avlede ønskede egenskaper ved undergrunnsområdet foran borkronen. Enkeltkomponenter i disse tensorene, eller forskjellige kombinasjoner av komponentene, kan anvendes for å avlede formasjonsegenskaper. For eksempel kan hvilke som helst av følgende kombinasjoner anvendes:

10

$ZZ/(XX+YY)$, noen ganger betegnet den "harmoniske resistivitet" (HR);

$(ZZ-XZ)/(ZZ+XZ)*(ZZ+ZX)/(ZZ-ZX)$, noen ganger betegnet "symmetrisert retning" (SD) eller "første harmoniske retning";

XX/YY , noen ganger betegnet "andre harmoniske retning"; og

15

$(ZZ+XZ)/(ZZ-XZ)*(ZZ+ZX)/(ZZ-ZX)$, noen ganger betegnet "anti-symmetrisert retning" (AD).

20

[0099] Hver måling inneholder informasjon om formasjonens struktur (resistivitet, lagdeling, helling og andre parametre). I drift blir en respons målt som er følsom for den omkringliggende formasjonen, omfattende bestemmelse av et lag (bed) foran borkronen 66 dersom et slikt forefinnes. En simulert respons også kan bli generert ved å modellere en brønnboring uten noen grenseflate foran borkronen. Forskjellen mellom den faktiske responsen og den modellerte responsen beregnes for eksempel ved hjelp av styresystemet 52. Dersom forskjellen er null kan det konkluderes at det ikke finnes noe lag foran borkronen, men dersom forskjellen ikke er null, kan det konkluderes at forskjellen kan tilskrives tilstedeværelse av et lag foran borkronen.

25

30

[0100] Figurene 17 og 18 viser illustrasjoner av modelleringsoppsett anvendt for å generere elementærkoblingene. Elementærkoblingene blir generert i henhold til bunnhullsenhetens orientering i forhold til formasjonen. For eksempel representerer modelleringsoppsettet illustrert i figur 17 en hovedsakelig vertikal orientering, og modelleringsoppsettet illustrert i figur 18 representerer en

hovedsakelig horisontal orientering. Den illustrerte formasjonen kan også ha en relativ helling i forhold til bunnhullsenheten.

[0101] Med generell henvisning til figurene 19 og 20 er grafiske eksempler illustrert som representerer resultater fra loggesystemet 44 når det er konstruert som et induksjonsverktøy med en forbestemt avstand mellom sender og mottaker-(T-R)-antennene og en forbestemt frekvens når det krysser en formasjon med en gitt tykkelse. Som et eksempel er T-R-avstanden 18,3 meter (60 fot) og frekvensen er 2 kHz ved kryssing av en 1,5 meter (5 fot) tykk formasjon. Som et eksempel kan resultatene bli vist på en fremvisningsanordning 56 i et passende styresystem. I figur 19 er et eksempel med foroverseende funksjon vist der brønnen er hovedsakelig vertikal, og i figur 20 er et eksempel med rundtseende funksjon vist der brønnen er hovedsakelig horisontal. I disse eksemplene er responsen forskjellen mellom signaler generert med og uten et lag foran borkronen 66. Responsen er uttrykt både som et amplitudeforhold på den venstre grafen i hver figur og som en faseforskjell på den høyre grafen i hver figur. I det hovedsakelig vertikale eksempelet i figur 19 er krysskoblingene ZX og XZ null.

[0102] I eksempelet med foroverseende funksjon illustrert i figur 19 utviser kun diagonalleddene i koblingstensen (XX, YY og i mindre grad ZZ) og $ZZ/(XX+YY)$ en avhengighet av formasjonen som kan anvendes. Det skal bemerkes at forholdet $ZZ/(XX+YY)$, når det anvendes i formasjoner med liten helling og anisotropi, ikke endrer seg drastisk. I dette eksempelet, i en avstand på omtrent 15,2 meter (50 fot) ovenfor laget, begynner amplitudeforholdresponsen å avvike fra null, noe som indikerer tilstedeværelse av et lag med forskjellig resistivitet foran borkronen. Etter hvert som verktøyet/bunnhullsenheten nærmer seg laget, øker avvikene inntil den første antennen krysser laggrensen, da responsen har maksimal verdi. Likeledes begynner faseforskjellen til responsene å avvike fra null ved omtrent 18,3 meter (60 fot) ovenfor laggrensen, som vist i den høyre grafen i figur 19. I de viste responsene er det et krysningspunkt ved omtrent 6,1 meter (20 fot) ovenfor laget som, i tillegg til de ovennevnte avvik, indikerer at det er et lag foran borkronen. Som regel har faseforskjellresponsen større foroverseende følsomhet enn amplitudeforholdresponsen.

[0103] I det rundtseende eksempelet illustrert i figur 20 utviser alle de plottede responsene en avhengighet av formasjonen. I dette eksempelet, ved avstander på

- omtrent 21,3 meter (70 fot) før laget, begynner amplitudeforholdresponsen å avvike fra null, noe som indikerer tilstedeværelse av et lag med forskjellig resistivitet foran borkronen. Etter hvert som verktøyet/bunnhullsenheten nærmer seg laget, øker normalt avvikene inntil den første antennen krysser laggrensen, på
- 5 hvilket tidspunkt enkelte responser viser maksimalt avvik. I de viste responsene er det et krysningsspunkt ved omtrent 3 meter (10 fot) før laget som indikerer at det finnes et lag foran borkronen. Likeledes begynner faseforskjellen til responsene å avveke fra null ved omtrent 15,2 meter (50 fot) før laggrensen, som vist i den høyre grafen i figur 20.
- 10 [0104] Som illustrert i figur 20 er alle responsene plottet følsomme for laget foran borkronen og kan anvendes for å estimere avstanden til laggrensen foran borkronen. Følgelig trenger ikke hele koblingstensen være nødvendig. For eksempel kan den symmetriserte responsen bli bestemt med bruk av kun én enkelt skråstilt senderantenne og én enkelt skråstilt mottakerantenne.
- 15 [0105] Avstandene angitt over er eksempler, og styres av T-R-avstandene samt den driftsfrekvensen som anvendes. I alminnelighet er det nyttig å gjøre målinger med flere enn én T-R-avstand og flere enn én frekvens for å bedre påliteligheten i tolkningen av resultatene.
- 20 [0106] I tillegg til at responsene blir plottet kan responsene bli invertert for å beregne, for eksempel, avstanden til laggrensen foran borkronen eller formasjonens konduktivitet, anisotropi og hellingsvinkel foran borkronen. Inversjonen kan være éndimensjonal, todimensjonal eller tredimensjonal. En mer stabil og pålitelig inversjon kan oppnås ved å anvende forskjellige kombinasjoner av T-R-avstander og frekvenser. Inversjon gir nøyaktige estimater av avstanden til
- 25 laggrensen foran borkronen når denne avstanden er innenfor omtrent 2/3 av T-R-avstanden. Imidlertid kan dette forholdet forbedres avhengig av formasjonens egenskaper.
- 30 [0107] I det foroverseende eksempelet er foroverseende trekk klart eksisterende som et haletrekk. Endring i en RCV-respons som følge av foroverseende trekk volumetrisk, og kan tas separat fra formasjonen rundt et sender/mottaker-system. Hvert diagonalledd kan anvendes uavhengig, men i det viste eksempelet er både TX- og RCV-kanalene kalibrert slik at absolutte målinger som kun er følsomme for formasjonstrekk kan bestemmes. Kalibrering blir utført fordi TX-utgangsstrømmen

og RCV-systemet, som vanligvis omfatter en antenne koblet til forsterkerelektronikk, kan ha en variasjon som er avhengig av temperatur og andre omgivelsesfaktorer. Som illustrert i figurene 19 og 20 omfatter en annen kombinasjon med tilsvarende respons til individuelle diagonalledd å ta forholdet $ZZ/(XX+YY)$. Det å generere målingen som forhold mellom elementærkoblinger gir den fordel at den er kalibrert slik at ingen absolutt måling er nødvendig.

[0108] Med generell henvisning til den skjematiske illustrasjonen i figur 21 er ett eksempel vist for bestemmelse av den kalibrerte målingen $ZZ/(XX+YY)$. I dette eksempelet kan den kalibrerte målingen $ZZ/(XX+YY)$ bli gjort med et loggesystem som anvender tre skråstilte TX-antenner 84 koblet til en skråstilt RCV-antenne 86. Den mottatte spenningen ved mottakeren for hvert TX-RCV-par har et konstant ledd og første og andre harmoniske ledd. Når målingen blir tilpasset med henblikk på rotasjon av verktøyet/bunnhullsenheten, blir den relative forsterkningen (gain) til RCV-kanalen bestemt samtidig med elementærkoblingen. I vertikale brønner eller nesten vertikale brønner er krysskoblingsleddene for det meste lik null og har dermed bare konstant oppførsel som funksjon av verktøyets asimutorientering (verktøyflate), og derfor kan ikke de individuelle relative forsterkningene trekkes ut (forsterkning kan bare trekkes ut fra første og andre overtone). For å måle de relative forsterkningene når første og andre overtone ikke finnes, kan en kalibrering av mottakerantennene gjøres for eksempel med bruk av testspoler innlemmet i mottakerantennene eller annen passende elektronikk. I eksempelet illustrert i figur 11 blir det grunnleggende systemet med tre sendere og én mottaker anvendt for å bestemme elementærkoblingene. I denne utførelsen er hvert sender og mottaker-par skråstilt 45° i forhold til verktøyets akse, og TX-sidens magnetiske momenter er fordelt asimutisk med en innbyrdes vinkel på 120° .

[0109] I eksempelet illustrert i figur 22 er de skråstilte retningsbestemte TX- og RCV-antennene vist med gitte magnetiske dipolmomenter. TX- og RCV-antennene står med forskjellig asimutvinkel. I dette eksempelet er et mottakersignal en funksjon av elementærkobling og systemorientering i matriseform som følger:

$$V_R = (\cos \alpha, \sin \alpha, 1) \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} XX & XY & XZ \\ YX & YY & YZ \\ ZX & ZY & ZZ \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

RCV-momentvektoren til høyre er skråstilt med 45° og vertikal. TX-momentet er orientert med en asimutvinkel α i forhold til vertikalen. Vinkelen φ svarer til rotasjonen av TX/RCV-paret/verktøyet.

- 5 [0110] Mottakersignalet kan også beskrives som en funksjon av elementærkobling og systemorientering, der g er sender-mottaker-kanalforsterkningen som følger:

$$\begin{aligned} \frac{V_R}{g} = & ZZ + \frac{(XX + YY)}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{(XY - YX)}{2} \cdot \sin \alpha \\ & + ZX \cdot \cos \varphi + ZY \cdot \sin \varphi \\ & + XZ \cdot \cos(\alpha + \varphi) + YZ \cdot \sin(\alpha + \varphi) \\ & + \frac{(XX - YY)}{2} \cdot \cos(\alpha + 2\varphi) + \frac{(XY + YX)}{2} \cdot \sin(\alpha + 2\varphi) \end{aligned}$$

Det skal bemerkes at en ved å påføre rotasjon kan trekke ut alle koblinger. For en ekte vertikal brønn er bare konstantleddet forskjellig fra null.

- 10 [0111] Mottakersignalet kan også beskrives med hensyn til tre skråstilte sender/mottaker-par vinklet 45° som følger:

$$\begin{aligned} V_{T1R} &= g_{T1} \cdot \left(ZZ + \frac{(XX + YY)}{2} \cdot \cos \alpha_{T1} - \frac{(XY - YX)}{2} \cdot \sin \alpha_{T1} \right) \\ V_{T2R} &= g_{T2} \cdot \left(ZZ + \frac{(XX + YY)}{2} \cdot \cos \alpha_{T2} - \frac{(XY - YX)}{2} \cdot \sin \alpha_{T2} \right) \\ V_{T3R} &= g_{T3} \cdot \left(ZZ + \frac{(XX + YY)}{2} \cdot \cos \alpha_{T3} - \frac{(XY - YX)}{2} \cdot \sin \alpha_{T3} \right) \end{aligned}$$

15

Mottakermomentet er orientert vertikalt med hver TX-antenne i en gitt asimutvinkel α_{T1} , α_{T2} , α_{T3} i forhold til vertikalen. Hvert TX/RCV-par har en tilhørende forsterkning g_{T1} , g_{T2} , g_{T3} . ZZ , $XX+YY$ og $XY-YX$ kan beregnes fra likningene bare dersom forsterkningene eller i hvert fall de relative forsterkningene er kjente.

- 20 [0112] I figurene 23-30 er det vist eksempler i grafisk form av foroverseende følsomhet for totrinns endringer i resistivitet med hensyn til avstandsrelatert dempning og faseskift. En rimelig avskjæring på 0,1dB for dempning og 0,25 grader for faseskift kan antas. Foroverseende undersøkelsesdyp er avhengig av overføringsfrekvensen, noe som gir kortere rekkevidde ved høyere frekvens.

Faseskiftresponsen er dypere (for begge resistivitetsprofiler) enn dempningen som følge av tilstedeværelsen av en lobe. Loben øker med frekvens. Kombinasjon av dempnings- og faseskiftmålinger ved forskjellige frekvenser kan anvendes på en måte tilsvarende rundtseende inversjon.

5 [0113] I figur 23 er det grafisk illustrerte eksempelet for en 2kHz utførelse med en TX/RCV-avstand på 18,3 meter (60 fot), idet dempning er vist i den venstre grafen og faseskift i den høyre grafen. Grafene representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 2 kHz verktøy følsomhet for et nedover-steget resistivitetsprofil ($2 \Omega\text{m}$ til $0,3 \Omega\text{m}$). En avskjæring på 0,1dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er
10 anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden. I dette eksempelet er dempningen vist å ha en rekkevidde på omtrent 12,2 meter (40 fot) foran den laveste EM-antennen. Faseskiftet, på den annen side, har en dypere rekkevidde, men med tilstedeværelse av en lobe.

[0114] I figur 24 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon
15 18,3 meter (60 fot) 5 kHz verktøy følsomhet for et nedover-steget resistivitetsprofil ($2 \Omega\text{m}$ til $0,3 \Omega\text{m}$). En avskjæring på 0,1dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden. I dette eksempelet er rekkevidden redusert for både dempning og faseskift.

[0115] I figur 25 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon
20 18,3 meter (60 fot) 10 kHz verktøy følsomhet for et nedover-steget resistivitetsprofil ($2 \Omega\text{m}$ til $0,3 \Omega\text{m}$). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden. I dette eksempelet er en reduksjon av området illustrert, med en lobe som begynner å vise seg i dempningen.

25 [0116] I figur 26 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 20 kHz verktøy følsomhet for et nedover-steget resistivitetsprofil ($2 \Omega\text{m}$ til $0,3 \Omega\text{m}$). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden.

30 [0117] I figur 27 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 2 kHz verktøy følsomhet for et oppover-steget resistivitetsprofil ($2 \Omega\text{m}$ til $20 \Omega\text{m}$). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden.

Et oppover-steget profil er tilsvarende et nedover-steget profil som i eksemplene illustrert og beskrevet over.

5 [0118] I figur 28 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 5 kHz verktøy følsomhet for et oppover-steget resistivitetsprofil (2 Ωm til 20 Ωm). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden.

10 [0119] I figur 29 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 10 kHz verktøy følsomhet for et oppover-steget resistivitetsprofil (2 Ωm til 20 Ωm). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden.

[0120] I figur 30 er et annet eksempel illustrert grafisk og representerer induksjon 18,3 meter (60 fot) 20 kHz verktøy følsomhet for et oppover-steget resistivitetsprofil (2 Ωm til 20 Ωm). En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden. Tilsvarende eksemplene med nedover-stegede profiler er den illustrerte rekkevidden omvendt proporsjonal med frekvens.

[0121] Ved å anvende avskjæringsverdiene beskrevet over og variere T-R-avstanden kan foroversyn-rekkevidden for dempning og faseskift basert på ZZ/(XX+YY) representeres grafisk, som illustrert i figur 31. Som kan sees i grafene i figur 31 anvender eksemplene to overføringsfrekvenser på 1 kHz eller 2 kHz. Som vist stagnerer rekkevidden for lengre T-R-avstand på grunn av avskjæringsparametrene. For å øke rekkevidden ytterligere kan en lavere frekvens bli anvendt, som illustrert i grafen på høyre side i figur 31. Grafene viser eksempler på fremoversyn-rekkevidde som funksjon av TX/RCV-avstand for dempning og faseskift med hensyn til oppover-stegede og nedover-stegede resistivitetsprofiler ved 2 kHz og 1 kHz.

[0122] Rekkevidden er også avhengig av kontrastforhold og resistivitetsnivå. I figur 32 er for eksempel grafiske representasjoner vist ved 2 kHz og 5 kHz dempning for et nedover-steget formasjonsprofil med forskjellige nivåer av resistivitet og forskjellig resistivitetskontrast med hensyn til den høyeste resistiviteten. Hver overføringsfrekvens har et optimalt resistivitetsnivå (resistivitet rundt bunnhullsenheten eller en resistivitetstopp) der den høyere frekvensen har en mer

optimal rekkevidde for det høyere resistivitetsnivået. En større kontrast resulterer i bedre rekkevidde for alle frekvenser. Videre utviser resistivitetstoppene på 10 Ωm og 20 Ωm de beste rekkeviddeegenskapene for henholdsvis 2 kHz og 5 kHz.

5 Økning av overføringsfrekvensen muliggjør høyere resistivitet. En avskjæring på 0,1 dB for dempning og 0,25 grader for faseskift er anvendt. De bredere kurvene på grafen viser deteksjonsrekkevidden. I dette eksempelet er rekkevidden redusert for både dempning og faseskift.

[0123] I anvendelser med logging-under-boring kan det være viktig å kunne å skille mellom en stegvis endring i resistivitet og en gradvis økning eller reduksjon i resistivitet foran borkronen 66. Generelt med henvisning til figur 33 er det vist grafiske representasjoner for å illustrere foroverseende skjelning mellom stegfunksjon og skråøkning. De grafiske representasjonene bidrar til å beskrive følsomheten til logging-under-boring-systemet 44 med hensyn til foroverseende følsomhet for et gradvis endrende versus et stegvis endrende resistivitetsprofil.

15 [0124] De grafiske representasjonene i figur 33 er basert på deteksjonsrekkevidden for et 9,1 meter (30 fot) gradvis avtagende og stegvist avtagende resistivitetsprofil for to resistivitetskontraster på 20 Ωm /2 Ωm og 20 Ωm /0,2 Ωm . I dette eksempelet er det nedover-stegede profilet forskjøvet i dyp til et sted ved halve skråendringens størrelse. Eksemplene/representasjonene er gitt for et område av TX/RCV-avstand (f.eks. 9,15 meter til 30,5 meter (30 til 100 fot)) og et område av frekvenser (f.eks. 2, 5, 10, 20, 50, og 100 kHz). Rekkevidden er definert som tidligste avstand til begynnelsen av skråendringen. For hver kontrast svarer rekkevidden til en mindre andel av TX/RCV-avstanden. Med den lange avstanden kan den foroverseende skjelningen av skråprofilet versus stegprofilet kun være tilgjengelig for noen frekvenser. Det skal bemerkes at rekkeviddevariasjon som funksjon av frekvens kan være nokså kompleks som følge av tilstedeværelse av en andre lobe ved høyere frekvenser.

[0125] I figur 34 er ytterligere eksempler vist i form av grafiske representasjoner. Figur 34 viser to eksempler svarende til et kontrastforhold på 10 og 100 med 18,3 meter (60 fot) avstand ved 2 kHz. Fra venstre til høyre langs de grafiske representasjonene i figur 34 er en 9,1 meter (30 fot) skråprofil illustrert i forhold til en homogen formasjon, et nedover-steget profil er plassert ved et midtpunkt på skråprofilet i forhold til den homogene formasjonen, og endelig er et skråprofil

illustrert i forhold til det nedover-stegede profilet for forskjellige kombinasjoner av elementærkoblinger.

[0126] Logging-under-boring-systemet 44 tilveiebringer også foroverseende følsomhet for et steget resistivetsprofil med hensyn til en anisotrop formasjon og en strukturell helling som er forskjellig fra null. Som illustrert av de grafiske representasjonene i figur 35 fører ikke formasjonens anisotropi og relative helling, som den foroverseende datainnsamlingen er utført for av logging-under-boring-systemet 44, til merkbar endring av oppførselen til diagonalleddene i elementærkoblingsmatrisen. $ZZ/(XX+YY)$ er en nyttig kombinasjonsmåling å bruke i mange anvendelser. Med helling og/eller anisotropi er krysskoblingene XZ og ZX forskjellig fra null, slik at de vanlige symmetriserte retningsmålingene $(ZZ+ZX)/(ZZ-ZX) * (ZZ-XZ)/(ZZ+XZ)$ også kan anvendes for å frembringe den foroversyn-informasjonen.

[0127] Evnen til foroverseende og rundtseende funksjon til loggesystemet som funksjon av strukturell helling er illustrert i de grafiske representasjonene i figur 36. I figur 36 er det vist eksempler for å betrakte målinger som funksjon av fire forskjellige strukturelle hellinger (0° , eller vertikal, 30° , 60° og 90° , eller horisontal). Som illustrert i de grafiske representasjonene har målingene av XX og YY en tydelig horn-effekt i vertikale brønner, mens målingene av YY og ZZ er påvirket i horisontale brønner. $ZZ/(XX+YY)$ gir en god måling som er gyldig for alle vinklene. En slik måling inneholder ikke den retningsinformasjonen som de andre retningsmålingene (dvs. de første og andre harmoniske retningsmålingene) har.

[0128] Den foroverseende funksjonen til loggesystemet kan også anvendes for å bestemme nærhet av forurenset sand for optimal kjerneboring, som illustrert av de grafiske resultatene vist i figur 37. I dette eksempelet blir evnen til logging-under-boring-systemet 44 til å se forover anvendt for å bestemme nærhet og tilstedeværelse av en forurenset sandposisjon like ovenfor et hovedreservoar slik at kjerneboring kan bli utført i det forurensede sandlaget eller seksjonen. I eksemplene representert av grafene i figur 37 viser eksemplene med 2 kHz og 20 kHz begge følsomhet for det midtre laget, men med en noe redusert evne til å se forover, f.eks. mindre enn halve lengden. Som kan sees i de grafiske representasjonene i figur 38 kan imidlertid lagtykkelsen bli estimert med sterkere effekt for et strømledende lag i motsetning til et isolerende lag. De forskjellige

grafiske representasjonene illustrert og beskrevet over er presentert for å lette forståelsen av loggemetoden beskrevet her. Imidlertid kan styresystemet 52 også være innrettet for å vise de forskjellige grafene og annen informasjon på fremvisningsanordningen 56 for å lette analyse av en rekke forskjellige undergrunns trekk og egenskaper basert på data frembragt ved hjelp av loggesystemet 44 og hele systemet 40.

[0129] Figurene 39 og 40 viser flytdiagrammer for å illustrere prosessen med å bestemme en formasjonsegenskap foran borkronen 66 gjennom inversjon. I det første eksempelet i figur 39 blir innledningsvis en rundtseende måling utført, som representert av trinn 88. Dataene blir invertert for formasjonen rundt borehullet, f.eks. brønnboringen 42, som representert av trinn 90. En foroverseende måling kan så bli utført, som representert av trinn 92. Dataene oppnådd blir invertert for et formasjonstrekk foran borkronen 66, som representert av trinn 94.

[0130] Et annet eksempel er illustrert av flytdiagrammet i figur 40, der en rundtseende måling innledningsvis blir utført, som representert av trinn 96. En foroverseende måling blir også utført, som representert av trinn 98. Måldataene oppnådd inverteres for alle formasjonstrekk, som representert av trinn 100. Det skal bemerkes at siden inversjonene er basert på den volumetriske innvirkningen av formasjonen på målingene, evnen til å se forover og beregningene krever kunnskap om og inversjon av formasjonsstrukturen og resistiviteten rundt bunnhullsenheten 46. Antenner med kortere T-R-avstand og høyere frekvens (reduert undersøkelsesdyp) kan anvendes for å samle inn data og bestemme formasjonen rundt bunnhullsenheten mens de ikke er følsomme for de foroversyn-trekkene. Som illustrert av flytdiagrammet kan direkte inversjon anvendes for å invertere for alle undersøkelsesdyp samtidig.

[0131] Med henvisning til figurene 41-43 kan den foroverseende inversjonen deles inn i to kategorier. Som representert i figur 41 omfatter én kategori en 1D-inversjon. Denne metoden er nyttig for en lang rekke anvendelser, og metoden er særlig egnet for bruk med vertikale brønner der formasjonsstrukturens helling er nær horisontal. Som et eksempel kan denne inversjonsmetoden benyttes i anvendelser som involverer deteksjon av poretrykk, borestyring, geofylling og -landing inne i et reservoar. En andre kategori omfatter en 2D/3D-inversjon som representert av figurene 42 og 43. Anvendelser som bruker denne

inversjonsmetoden benyttes gjerne i horisontale brønner. For eksempel er metoden nyttig for geostyring og for å detektere trekk foran borkronen, for eksempel en innkommende forkastning eller skifer som skal unngås.

- 5 [0132] Systemet og fremgangsmåten beskrevet her kan anvendes for å forbedre oppsamling og analyse av data vedrørende undergrunnsområder, så som områder foran eller rundt en brønnboring. Systemet og fremgangsmåten kan anvendes for å samle inn data for flere undersøkelsesdyp i ønskede retninger for å bedre forståelsen av en gitt brønnformasjon eller et annet undergrunnsområde. Som beskrevet kan senderantennene og mottakerantennene velges og orienteres for å
- 10 muliggjøre radiell følsomhet og/eller følsomhet foran loggesystemet. For eksempel kan systemet muliggjøre følsomhet foran borkronen 66. Plasseringen av og avstanden mellom senderantennen og mottakerantennen kan velges med henblikk på både parametrene for en gitt anvendelse og miljøet der loggeoperasjonen blir utført for å lette deteksjon av trekk foran borkronen/bunnhullsenheten.
- 15 [0133] Følgelig, selv om bare noen få utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse er beskrevet i detalj over, vil fagmannen lett innse at mange modifikasjoner er mulig uten å fjerne seg fra læren i denne oppfinnelsen. Slike modifikasjoner er ment å være omfattet innenfor rammen av denne oppfinnelsen som definert i kravene.

Patentkrav

1. Et logging-under-boring-system for å detektere og måle ett eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikk foran eller rundt en borkrone (14), omfattende:
en sendermodul (21) som har en sender-lengdeakse og en senderantenne (41)
5 lokalisert på eller nær borkronen, sendermodulen (21) har koplinger på begge ender og er avtagbart koplet inn i en bunnhullsenhet;
en mottakermodul (25) som har en mottaker-lengdeakse og en mottakerantenne (43), mottakermodulen (25) har koplinger på begge ender og er avtagbart koplet inn i bunnhullsenheten og er posisjonert ved et separat sted langs logging-under-boring-systemet i forhold til sendermodulen (21) slik at senderantennen (41) og
10 mottakerantennen (43) er plassert fra hverandre aksielt langs bunnhullsenheten, der minst én av senderantennen (41) og mottakerantennen (43) er en retningsbestemt antenne, og der avstanden mellom senderantennen (41) og mottakerantennen (43) er valgt til å være lik eller større enn tykkelsen av minst ett reservoarlag som blir
15 undersøkt av logging-under-boring-systemet; og
et kontrollsystem som har en prosessor i stand til å:
prosessere foroverseende data og/eller rundtseende data mottatt fra logging-under-boring-systemet;
relatere de foroverseende dataene eller de rundtseende dataene til en
20 elektromagnetisk koplingstensor;
transformere én eller flere komponenter av den elektromagnetiske koplingstensoren til en korresponderende formasjonsparameter; og
mate ut de foroverseende dataene og/eller de rundtseende dataene og/eller korresponderende formasjonsparametere til en utmatingsanordning.
25
2. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der sender- og mottakerantennene (41; 43) er begge retningsbestemte antenner med dipolmomenter som krysser deres respektive modul-lengdeakser med tilnærmet like vinkler.
- 30 3. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der sender- og mottakerantennene (41; 43) har dipolmomenter som krysser deres respektive modul-lengdeakser med ulike vinkler.

4. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der senderantennen (41) og mottakerantennen (43) omfatter magnetiske dipolantennener, elektriske dipolantennener, eller en kombinasjon av elektriske og magnetiske dipolantennener.
- 5 5. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, videre omfattende ett eller flere nedihullsverktøy anordnet mellom sendermodulen (21) og mottakermodulen (25).
6. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der posisjonene av sender- og mottakerantennene (41; 43) har en avstand basert på en ønsket foroverseende
10 avstand eller en ønsket rundtseende avstand.
7. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der målingene av det ene eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikker foran eller rundt borkronen (14) utføres ved å bruke sender og mottakerantennene (41; 43) ved tre eller flere frekvenser for
15 hver dekad.
8. Logging-under-boring-systemet ifølge krav 1, der målingene av det ene eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikker foran eller rundt borkronen (14) utføres ved frekvenser som oppfyller $|k| \cdot L \in [0, 1; 10]$, der k representerer en gangkoeffisient
20 kalkulert som $k^2 = \epsilon \mu \omega^2 + i \sigma \mu \omega$, der ϵ representerer elektromagnetisk permittivitet, μ representerer elektromagnetisk permeabilitet, σ representerer konduktivitet, og ω representerer angulær frekvens.
9. En fremgangsmåte for å detektere og måle ett eller flere undergrunns trekk
25 og/eller karakteristikker foran eller rundt en borkrone (14), omfattende å:
tilveiebringe et logging-under-boring-system som har: en sendermodul (21) som har en sender-lengdeakse og en senderantenne (41) lokalisert på eller nær borkronen (14), sendermodulen (21) har koplinger på begge ender og er avtagbart koplet inn i en bunnhullsenhet, en mottakermodul (25) som har en mottaker-lengdeakse og en
30 mottakerantenne (43), mottakermodulen (25) har koplinger på begge ender og er avtagbart koplet inn i bunnhullssammenstillingen og er posisjonert ved et separat sted langs logging-under-boring-systemet i forhold til sendermodulen (21), der minst én av senderantennen (41) og mottakerantennen (43) er en retningsbestemt antenne, og et kontrollsystem som har en prosessor, der senderantennen (41) og mottakerantennen

(43) er plassert fra hverandre aksielt langs bunnhullsammenstillingen, avstanden er valgt å være lik eller større enn tykkelsen av minst ett reservoarlag som blir undersøkt av logging-under-boring-systemet;

prosessere foroverseende data og/eller rundtseende data mottatt fra logging-under-

5 boring-systemet;

relatere de foroverseende dataene eller de rundtseende dataene til en elektromagnetisk koplingstensor;

transformere én eller flere komponenter av den elektromagnetiske koplingstensoren til en korresponderende formasjonstensor; og

10 mate ut de foroverseende dataene og/eller de rundtseende dataene og/eller den korresponderende formasjonsparameteren til en utmatingsanordning.

10. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å:

sammenlikne en målt respons til en beregnet forventet respons basert på en

15 spesifikk formasjonsmodell; og

bestemme tilstedeværelsen og posisjonen av én eller flere resistivitetskontraster foran eller rundt borkronen (14).

11. Fremgangsmåten ifølge krav 10, videre omfattende å bruke tilstedeværelsen og

20 posisjonen av den ene eller flere resistivitetskontraster for geostyring, deteksjon av laggrenser, landing av en brønnboring, deteksjon av poretrykk, posisjonering for kjerneprøvetaking, geofylling, og boreadministrering.

12. Fremgangsmåten ifølge krav 11, videre omfattende å bestemme en avstand

25 mellom et referansepunkt og én eller flere laggrenser.

13. Fremgangsmåten ifølge krav 10, der sammenlikningen inkluderer å beregne en forskjell mellom den målte responsen og den beregnede forventede responsen.

30 14. Fremgangsmåten ifølge krav 10, der den målte responsen er relatert til en komponent av den elektromagnetiske koplingstensoren eller en kombinasjon av komponenter av den elektromagnetiske koplingstensoren.

15. Fremgangsmåten ifølge krav 10, der den beregnede forventede responsen er

relatert til en komponent av den elektromagnetiske koplingstensen eller en kombinasjon av komponenter av den elektromagnetiske koplingstensen.

5 16. Fremgangsmåten ifølge krav 9, der utmatingen inkluderer å fremvise på en skjerm og/eller å plote på et håndgripelig medium.

10 17. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å bestemme formasjonsegenskaper valgt fra gruppen bestående av: et poretrykk, en avstand til en laggrense, en lagtykkelse, en formasjonstype, en konduktivitetstensor, en hellingsvinkel, en hellingsasimut, og en forkastningsdeteksjon.

15 18. Fremgangsmåten ifølge krav 17, videre omfattende å bruke den bestemte formasjonsegenskapen for geostyring, deteksjon av laggrenser, landing av en brønnboring, deteksjon av poretrykk, posisjonering for kjerneprøvetaking, geofylling, og boreadministrering.

19. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å kalibrere senderantennen (41) og mottakerantennen (43).

20 20. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å bestemme en foroverseende følsomhet til to-trinns endringer i resistivitet med hensyn til avstandsrelatert dempning og faseskift.

25 21. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å bestemme en foroversynsrekkevidde.

30 22. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å skjelne mellom en stegvis endring i resistivitet foran borkronen (14) og en gradvis økning eller reduksjon foran borkronen (14).

23. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å bestemme en foroverseende følsomhet til en resistivitetsprofil med hensyn til en anisotrop formasjon og en strukturell helling som er forskjellig fra null.

24. Fremgangsmåten ifølge krav 9, videre omfattende å bestemme foroverseende funksjon og evnen til rundtseende funksjon av logging-under-boring-systemet som en funksjon av strukturell helling.

5 25. Fremgangsmåten ifølge krav 24, videre omfattende å bestemme nærhet av forurenset sand ved å bruke evnen til foroverseende funksjon av logging-under-boring-systemet.

26. Fremgangsmåten ifølge krav 9, der prosesseringen videre omfatter å utføre en
10 1D, 2D, eller 3D inversjon på de foroverseende dataene.

27. Fremgangsmåten ifølge krav 9, der målingene av det ene eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikker foran eller rundt borkronen (14) utføres ved å bruke sender og mottakerantennene (41; 43) ved tre eller flere frekvenser for hver dekada.

15 28. Fremgangsmåten ifølge krav 9, der målingene av det ene eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikker foran eller rundt borkronen (14) utføres ved frekvenser som oppfyller $|k| \cdot L \in [0,1;10]$, der k representerer en gangkoeffisient kalkulert som $k^2 = \epsilon \mu \omega^2 + i \sigma \mu \omega$, der ϵ representerer elektromagnetisk permittivitet, μ representerer
20 elektromagnetisk permeabilitet, σ representerer konduktivitet, og ω representerer angulær frekvens.

29. En fremgangsmåte for å detektere og måle ett eller flere undergrunns trekk og/eller karakteristikker foran eller rundt en borkrone (14), omfattende å:
25 tilveiebringe et logging-under-boring-system som har: en sendermodul (21) som har en sender-lengdeakse og en senderantenne (41) lokalisert på eller nær borkronen (14), sendermodulen (21) har koplinger på begge ender og er avtagbart koplet inn i en bunnhullsenhet, en mottakermodul (25) som har en mottaker-lengdeakse og en mottakerantenne (43), mottakermodulen (25) har koplinger på begge ender og er
30 avtagbart koplet inn i bunnhullssammenstillingen og er posisjonert ved et separat sted langs logging-under-boring-systemet i forhold til til sendermodulen (21), der minst én av senderantennen (41) og mottakerantennen (43) er en retningsbestemt antenne, og et kontrollsystem som har en prosessor;
prosessere foroverseende data og/eller rundtseende data mottatt fra logging-under-

- boring-systemet;
- relatere de foroverseende dataene eller de rundtseende dataene til en elektromagnetisk koplingstensor;
- transformere én eller flere komponenter av den elektromagnetiske koplingstensen
- 5 til en korresponderende formasjonstensor;
- mate ut de foroverseende dataene og/eller de rundtseende dataene og/eller korresponderende formasjonsparameter til en utmatingsanordning; og
- bestemme formasjonsegenskaper valgt fra gruppen bestående av: et poretrykk, en avstand til en laggrense, en lagtykkelse, en formasjonstype, en konduktivitetstensor,
- 10 en hellingsvinkel, en hellingsasimut, og en forkastningsdeteksjon, der den bestemte formasjonsegenskapen brukes for geostyring, deteksjon av laggrenser, landing av en brønnboring, deteksjon av poretrykk, posisjonering for kjerneprøvetaking, geofylling, og boreadministrering.

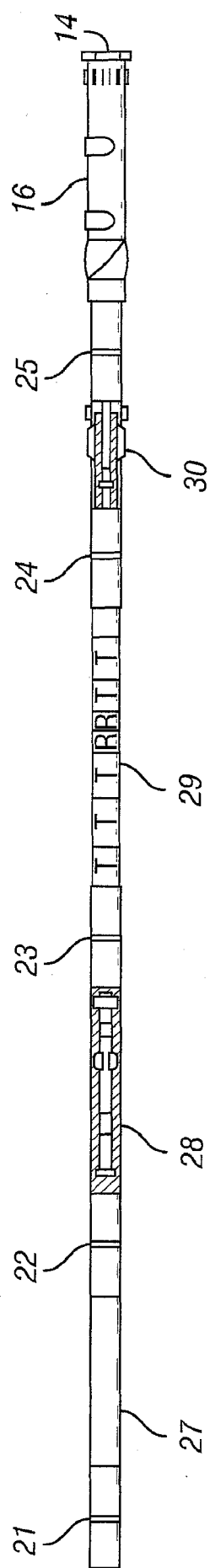


FIG. 1

1/49

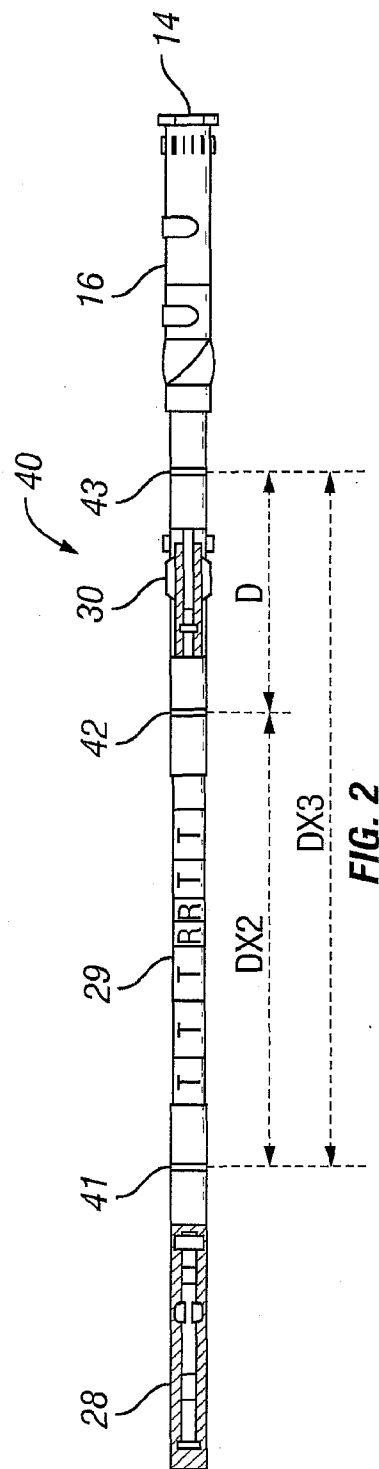


FIG. 2

2/49

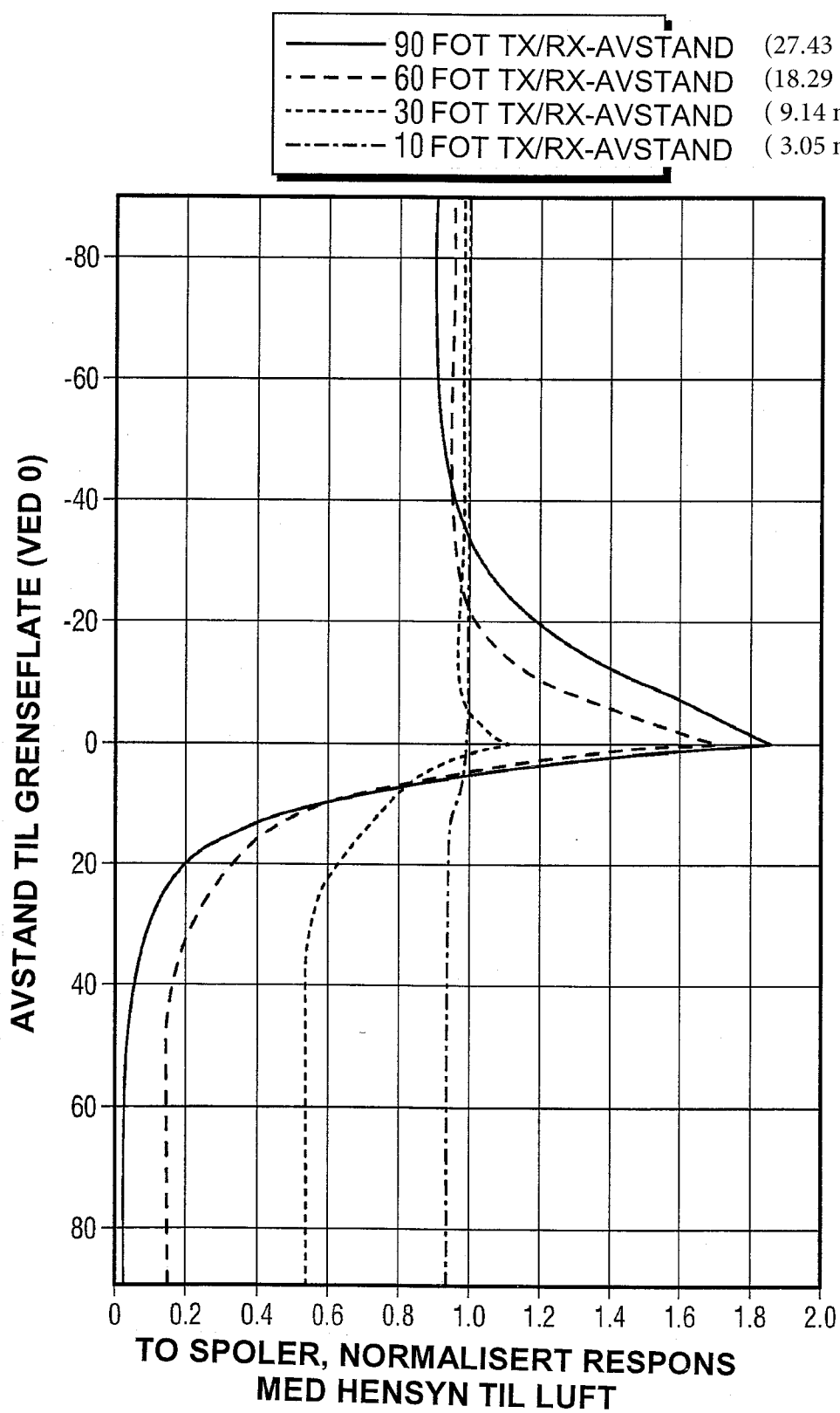


FIG. 3

3/49

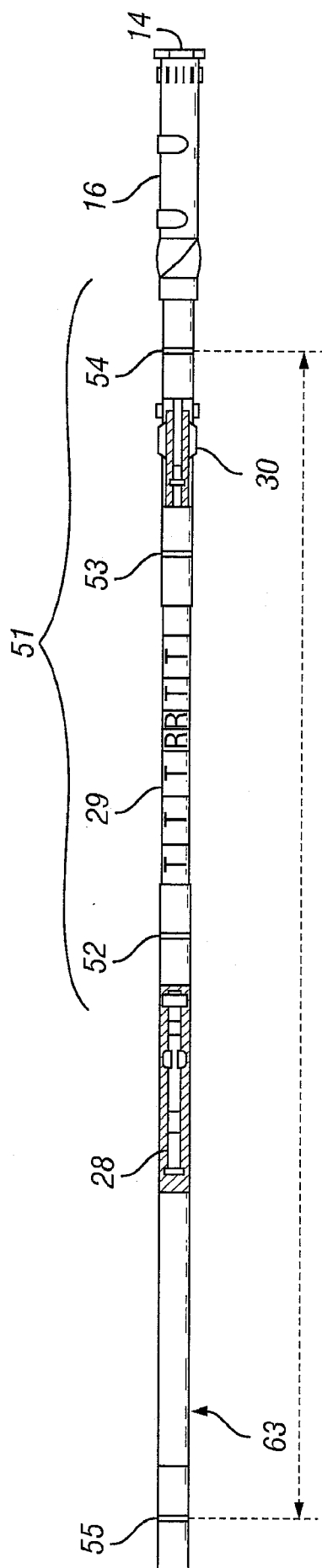


FIG. 4

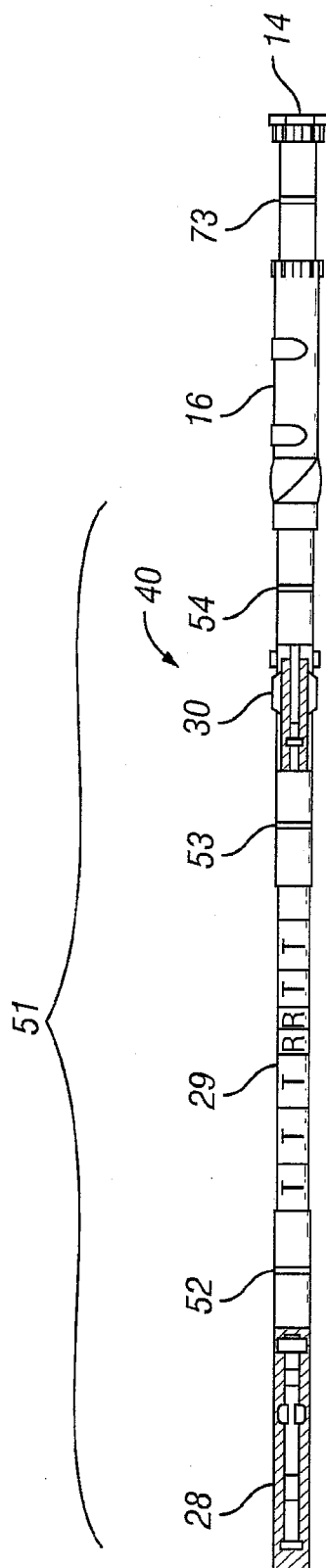


FIG. 5

4/49

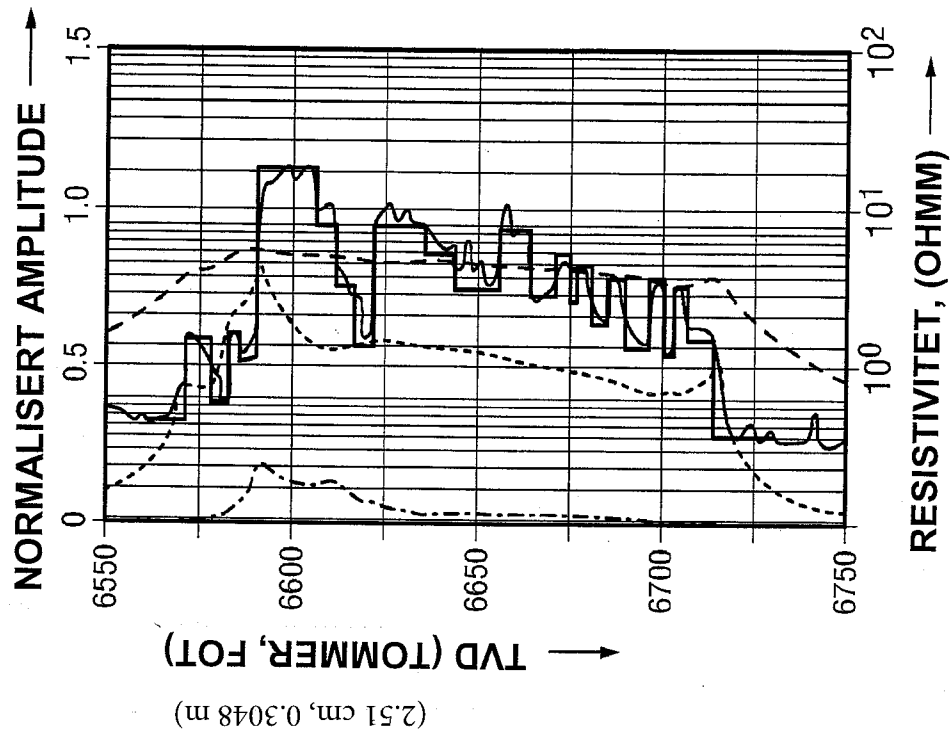
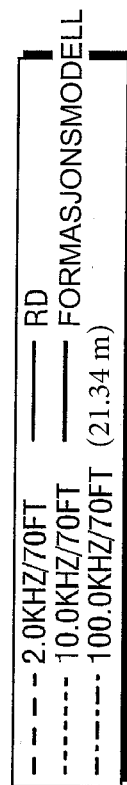


FIG. 6B

(Kjent teknikk)

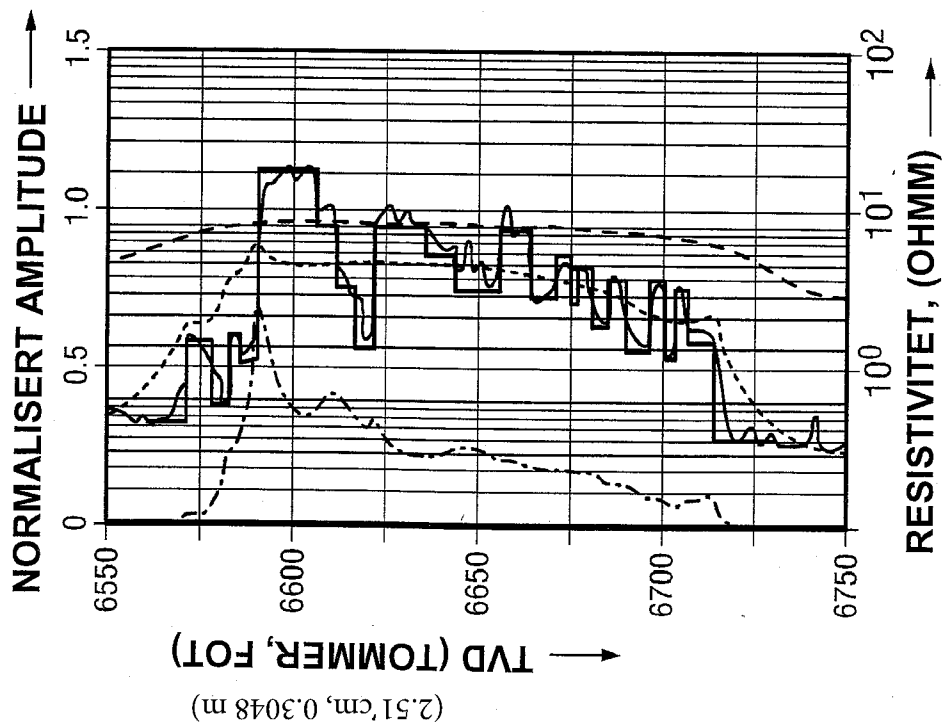
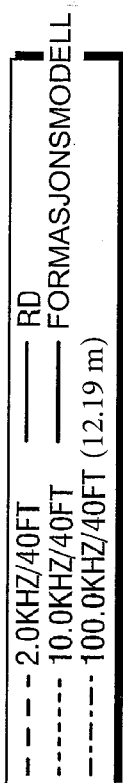


FIG. 6A

(Kjent teknikk)

5/49

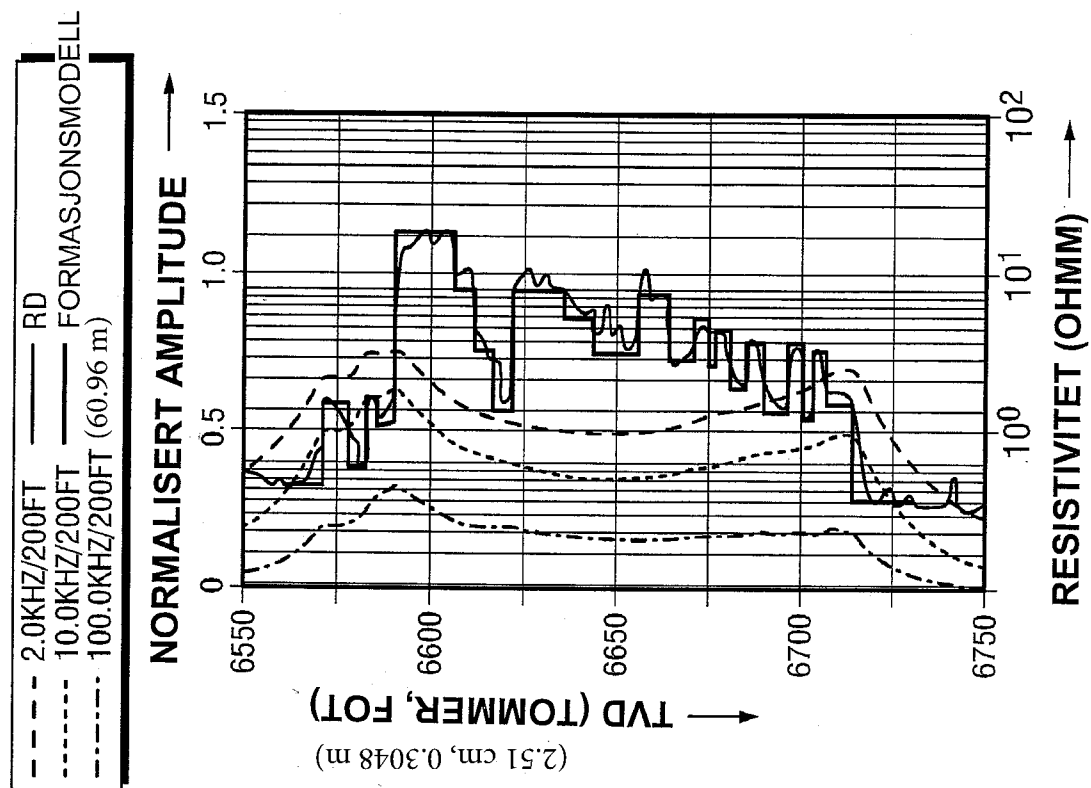


FIG. 6D

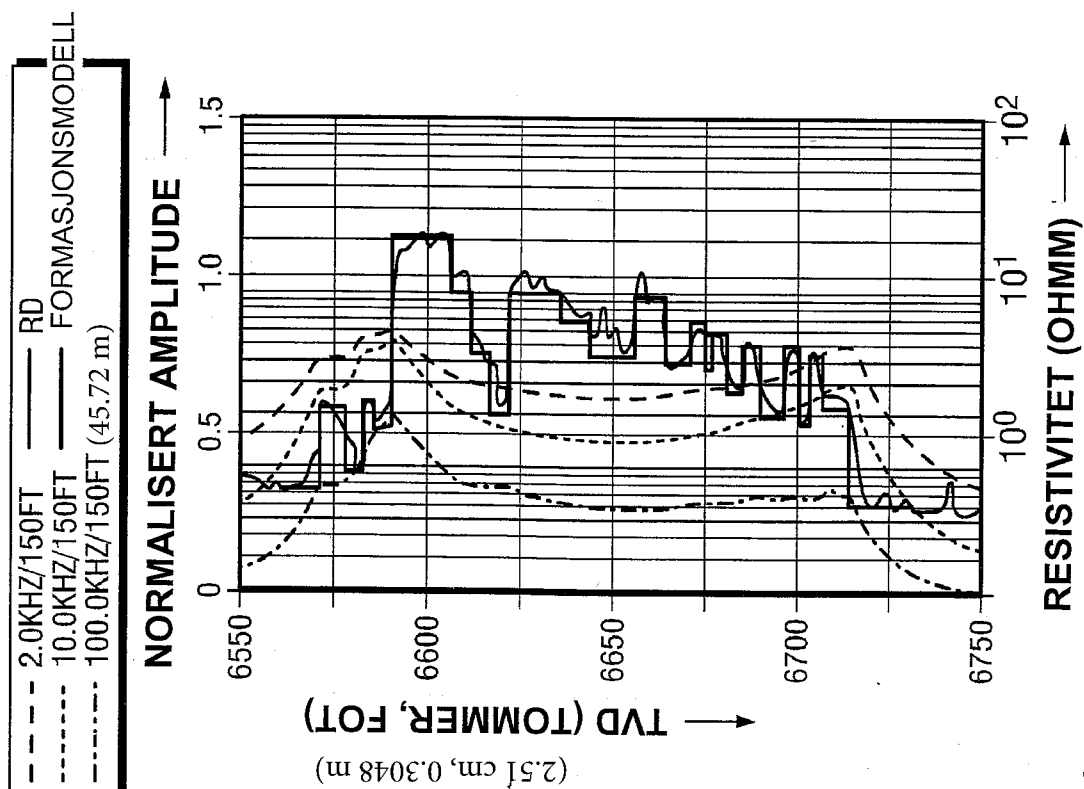
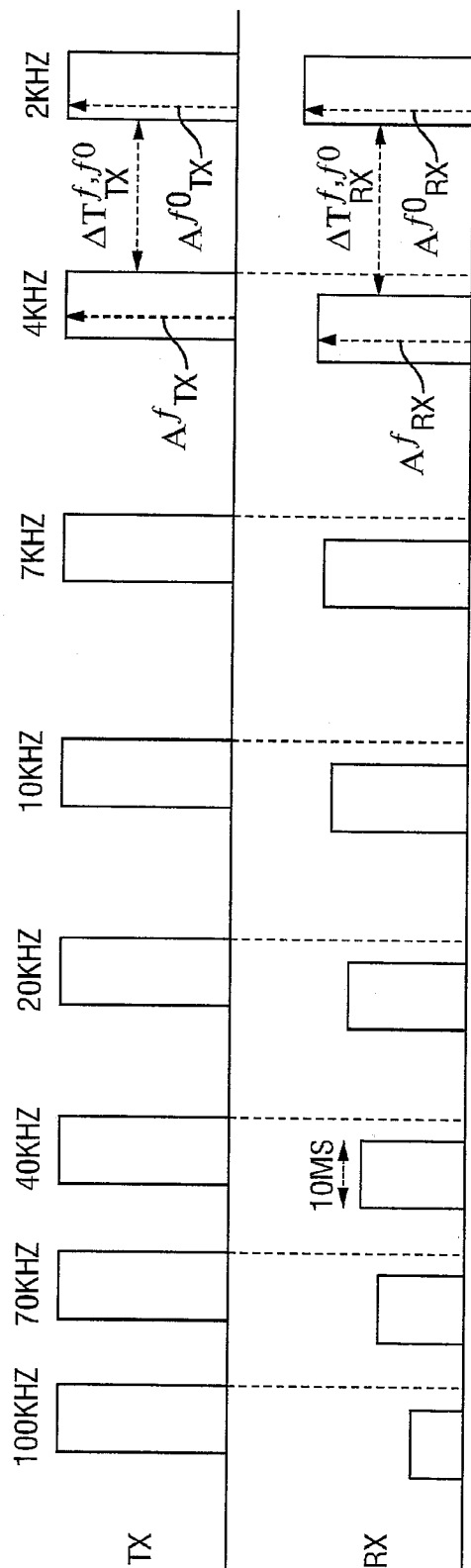


FIG. 6C

6/49

EKSEMPEL PÅ MÅLEPULSSEKVENSENS



DER

= FASEDIFFERANSE ELLER FASESKIFT
(MED TX, TX BYTTET MED RX1, RX1)

= TID MELLOM PULSER MED FREKVENNS f OG f_0 I
MOTTAKER ELLER SENDER

= AVVIKSFAKTOR MELLOM TX- OG RX-KLOKKE

= BÆRERFREKVENSENS PERIODE

= AMPLITUDEDIFFERANSE ELLER DEMPNING
(MED TX, TX BYTTET MED RX1, RX1)

= AMPLITUDEN TIL PULS VED FREKVENNS f ELLER f_0 I
MOTTAKER ELLER SENDER

$$\Delta \Phi = \frac{\Delta T f, f_0_{RX} - K \cdot \Delta T f, f_0_{TX}}{\Delta T f} \cdot 360^\circ$$

$$\Delta A = 20 \cdot \text{LOG} 10 \left\{ \frac{A_{RX}}{A_{TX}} \right\} - 20 \cdot \text{LOG} 10 \left\{ \frac{A_{f_0}}{A_{f_0_{TX}}} \right\}$$

FIG. 7

7/49

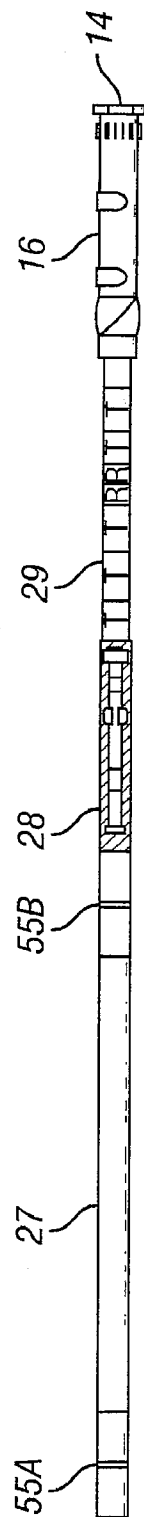


FIG. 8

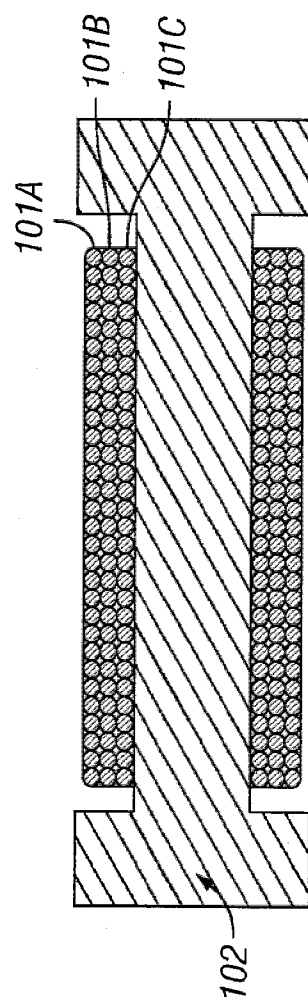


FIG. 9

8/49

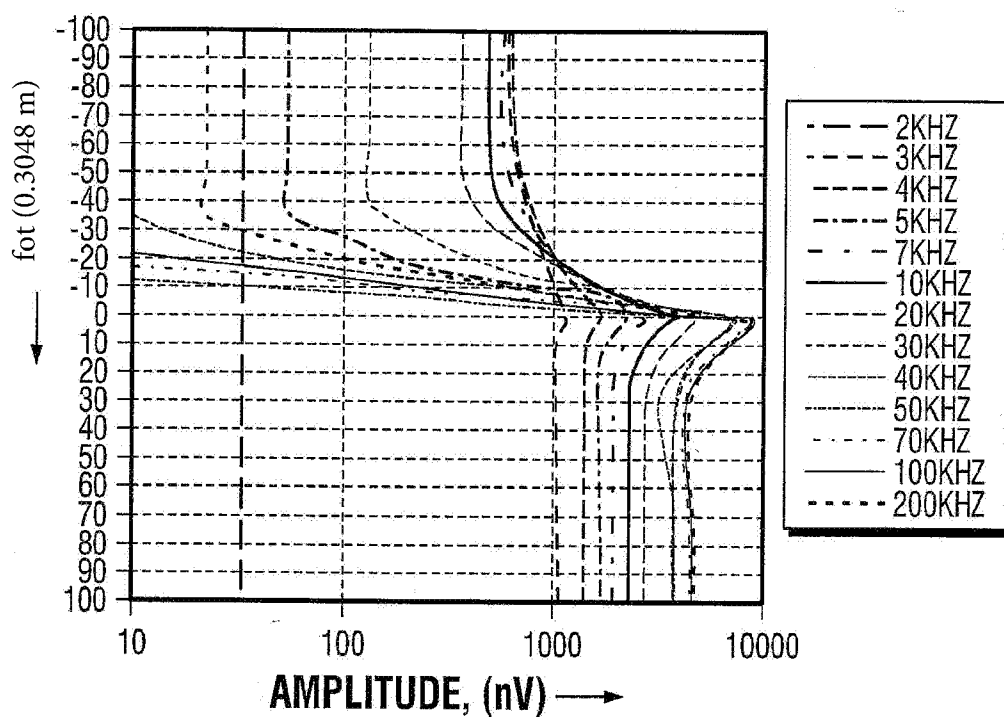


FIG. 10A

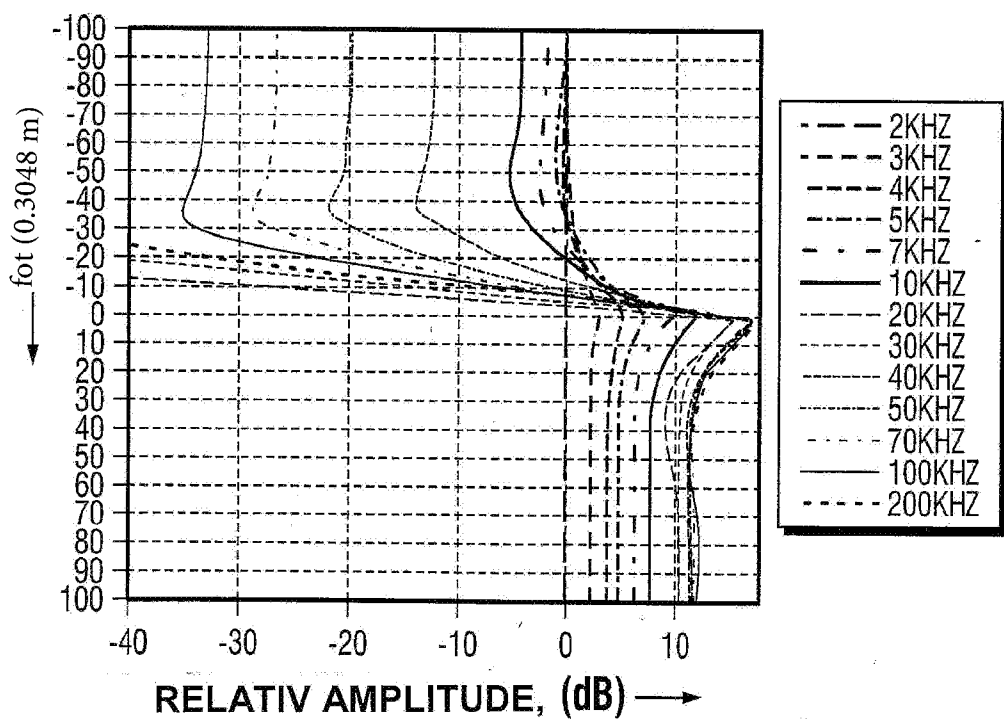


FIG. 10B

9/49

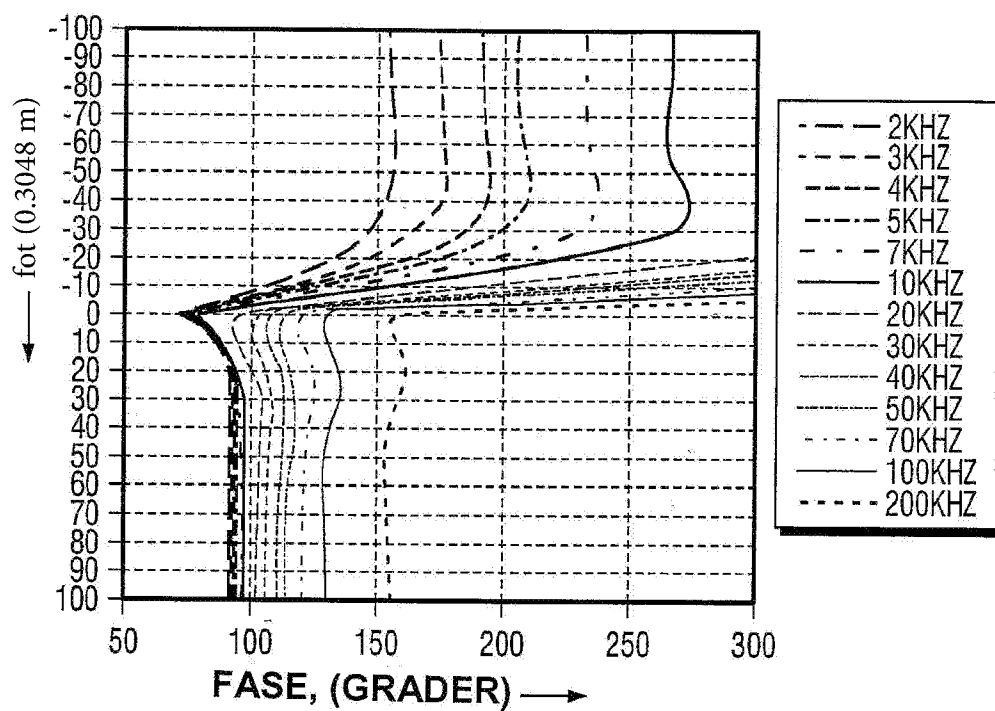


FIG. 10C

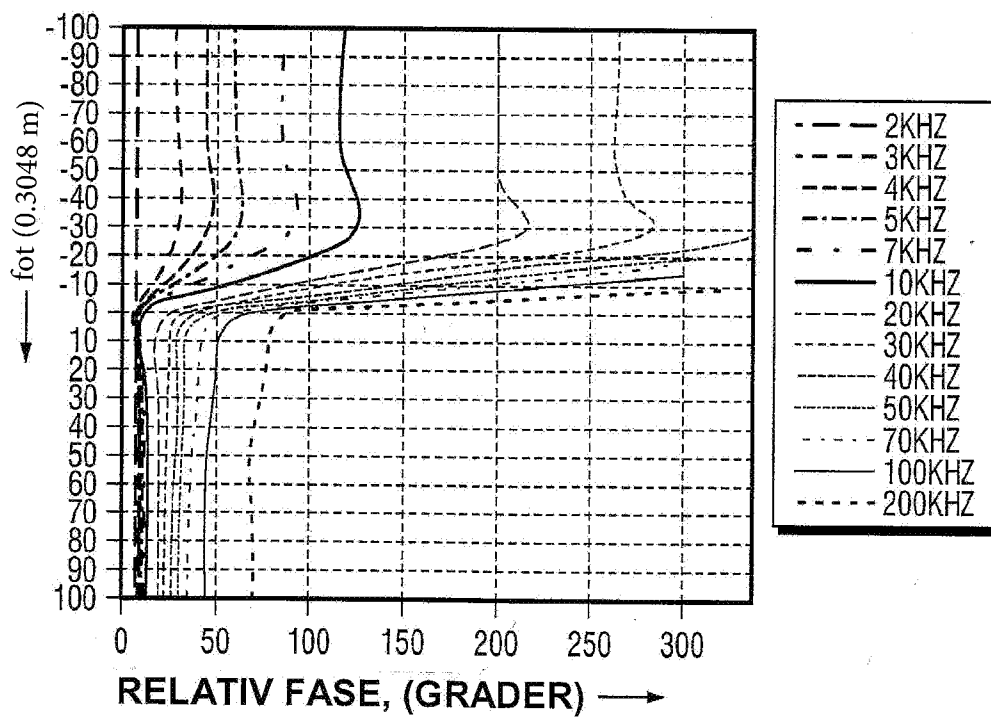


FIG. 10D

10/49

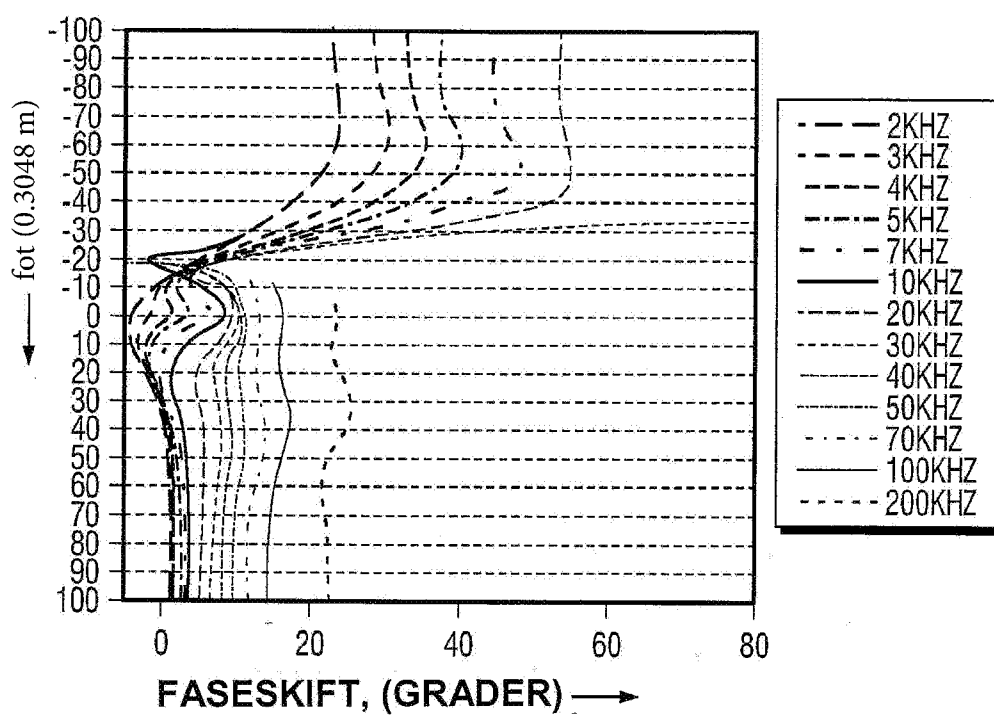


FIG. 10E

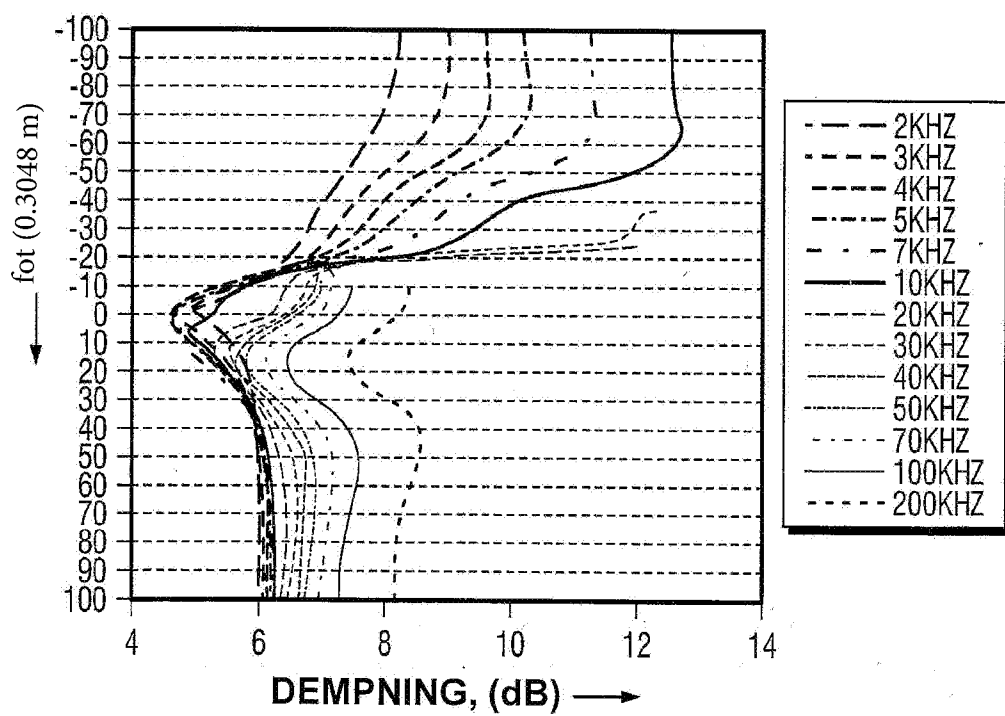


FIG. 10F

11/49

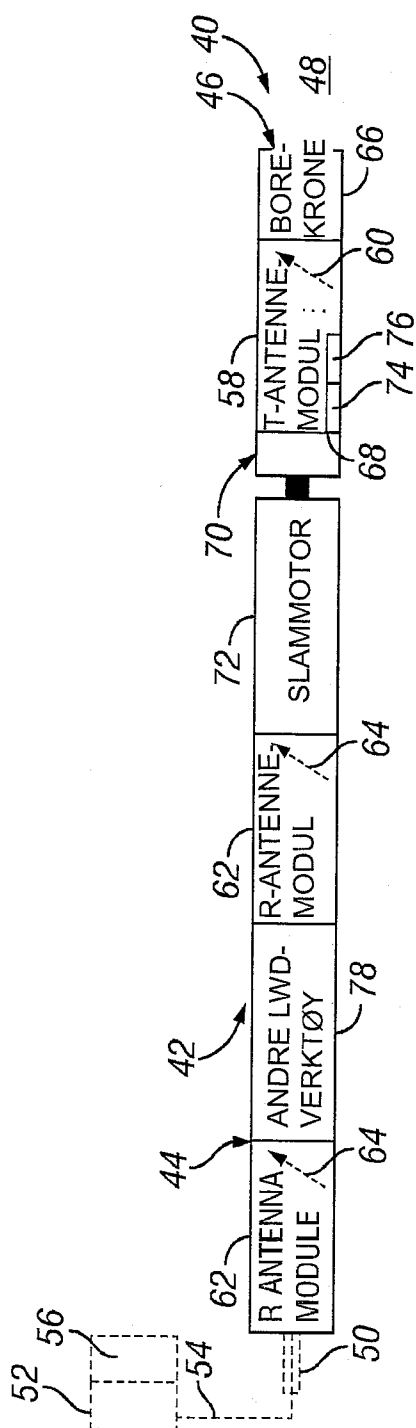


FIG. 11

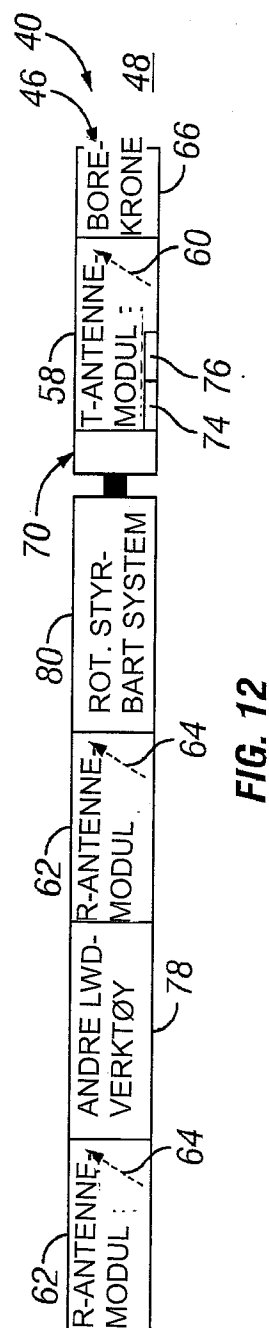


FIG. 12

12/49

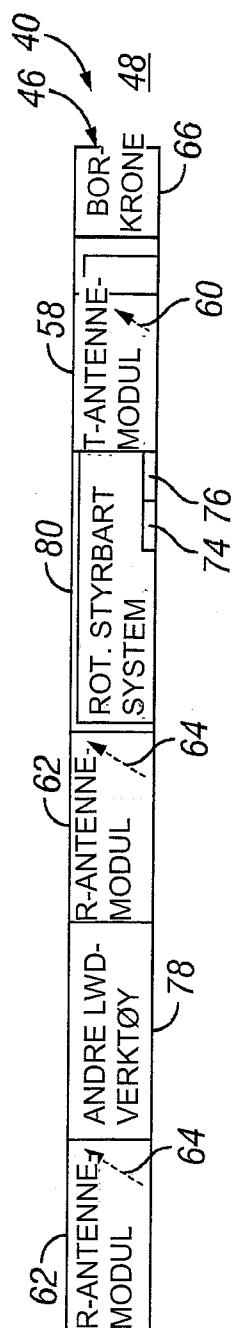


FIG. 13

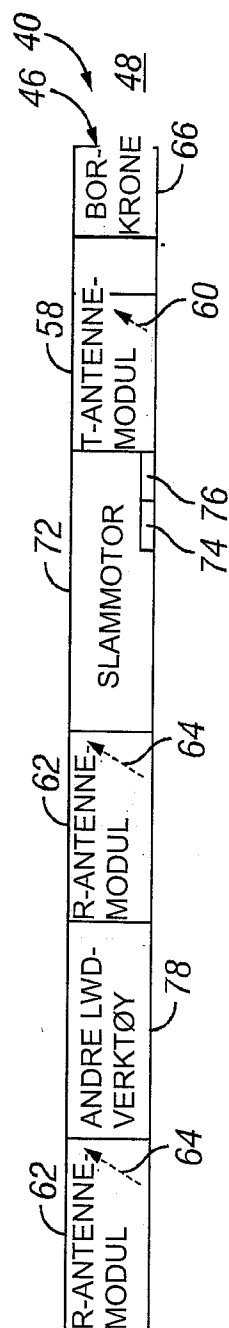


FIG. 14

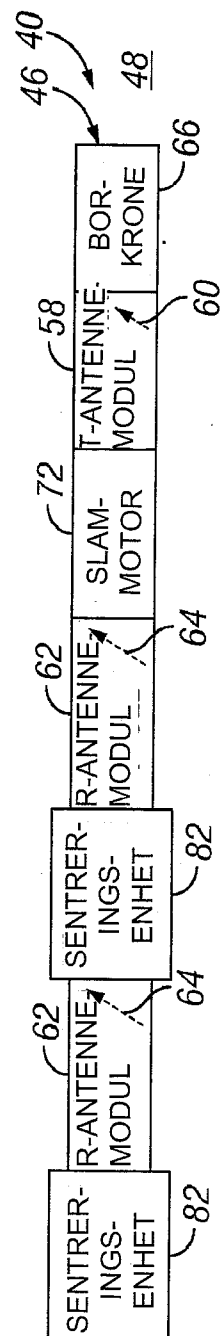


FIG. 15

13/49

$$M(\text{FREKVENS, AVSTAND, FORMASJONSPARAMETRE}) = \begin{bmatrix} XX & XY & XZ \\ YX & YY & YZ \\ ZX & ZY & ZZ \end{bmatrix}$$

AKSEDEFINISJON OG UTVALGTE KOPLINGSKOMPONENTER

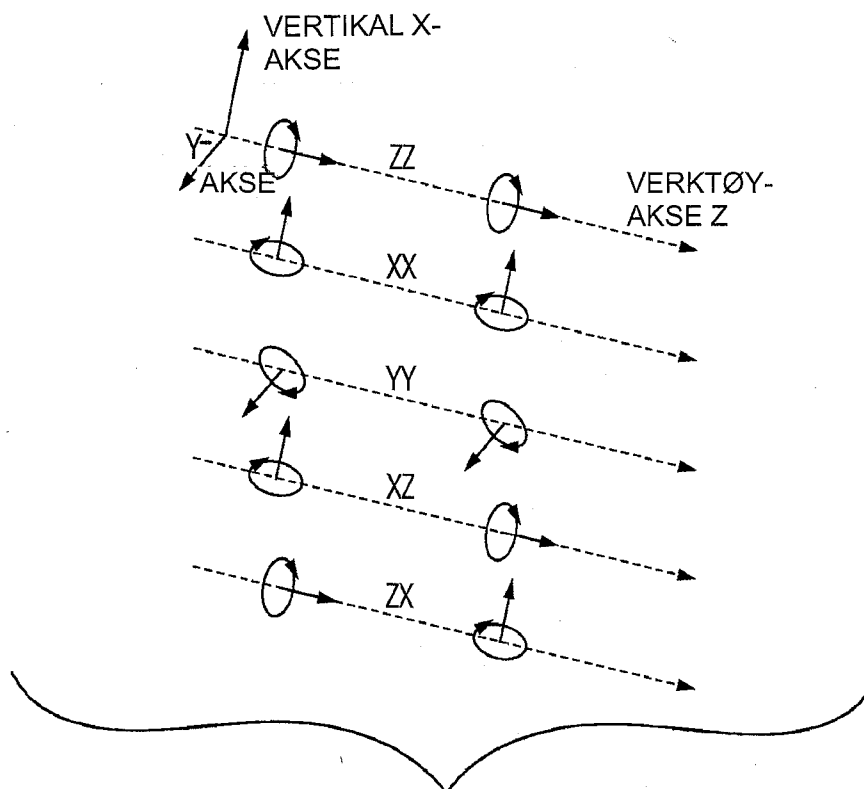


FIG. 16

14/49

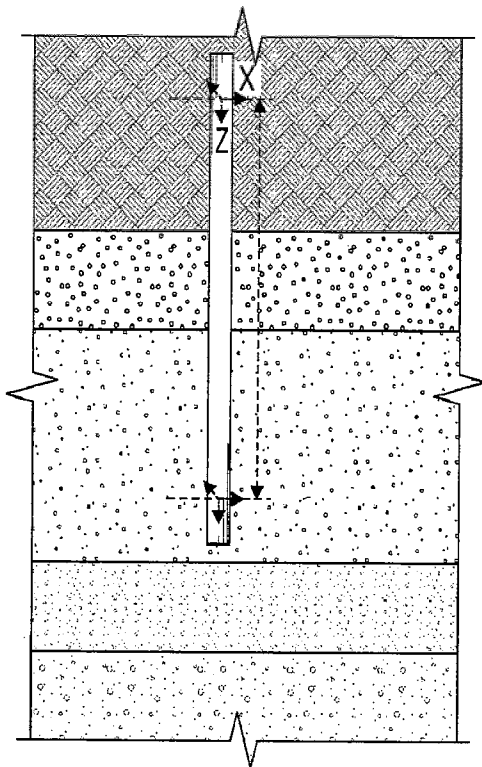


FIG. 17

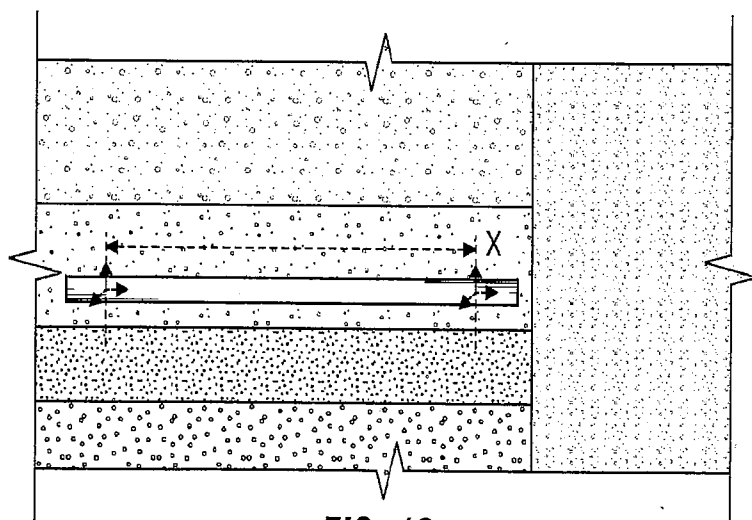


FIG. 18

15/49

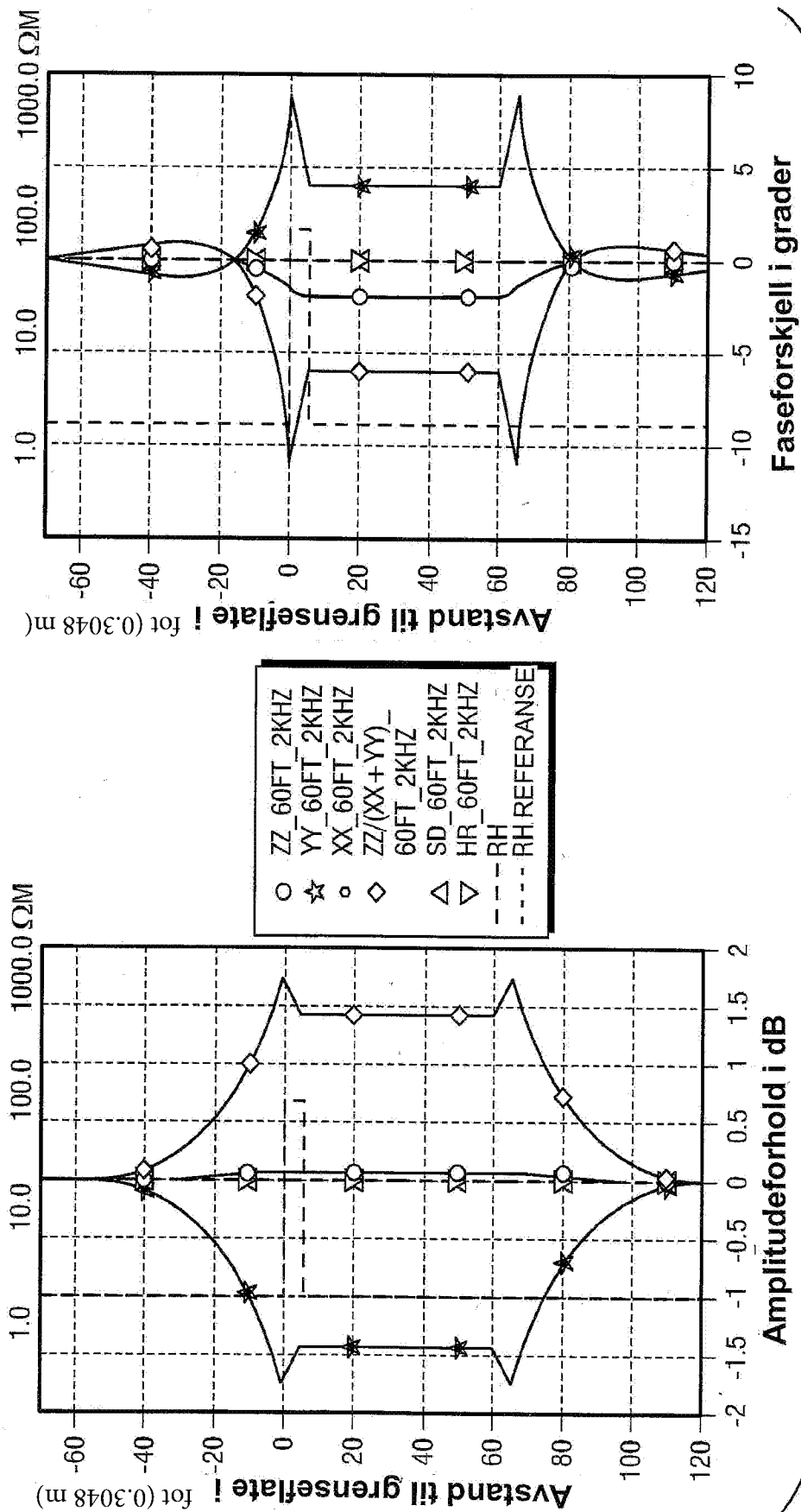


FIG. 19

16/49

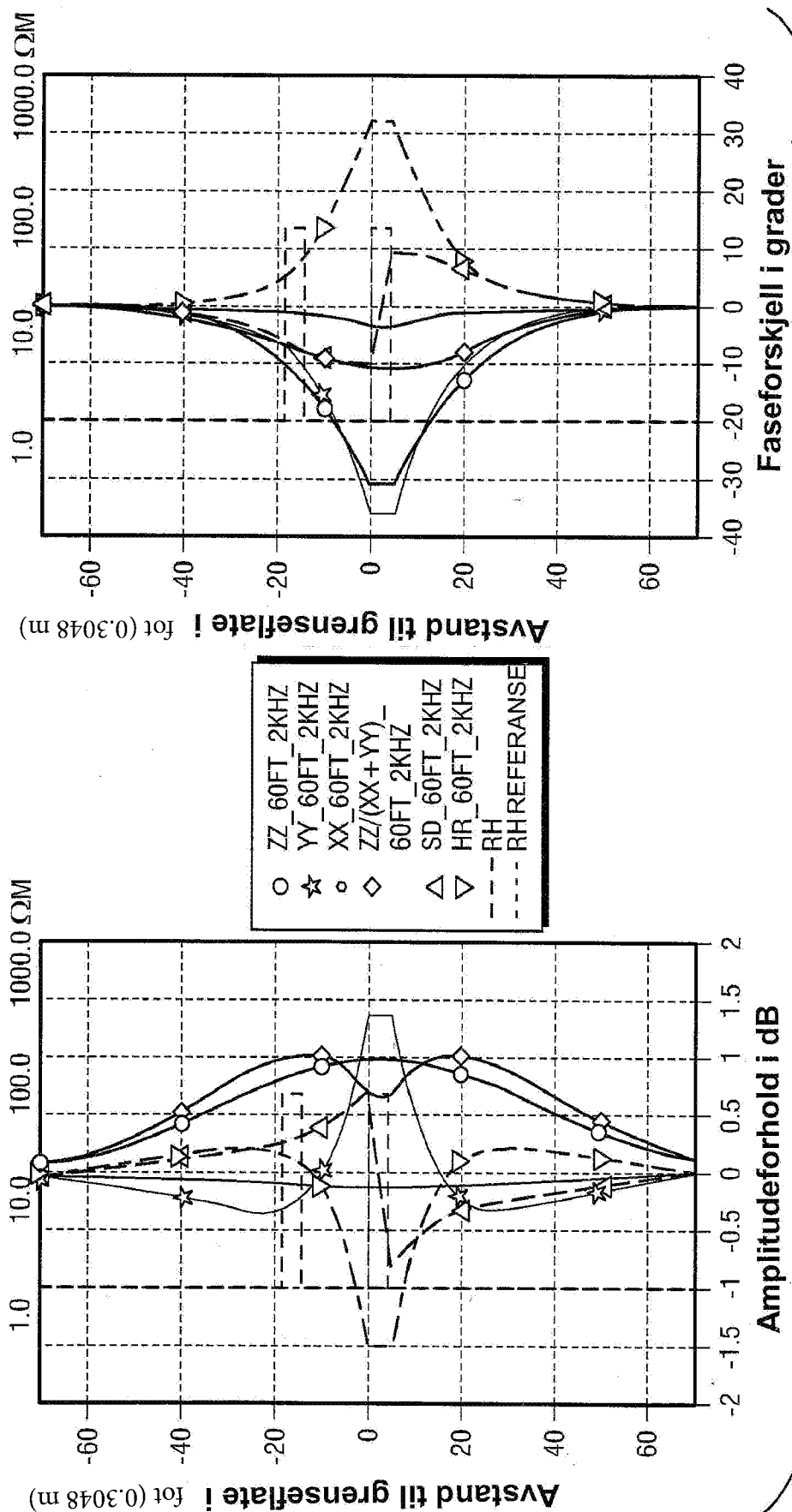


FIG. 20

17/49

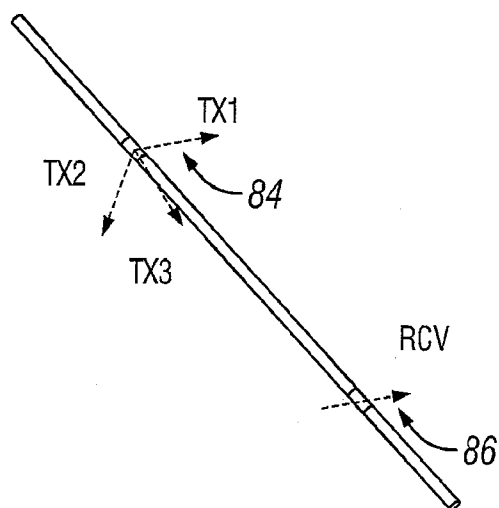


FIG. 21

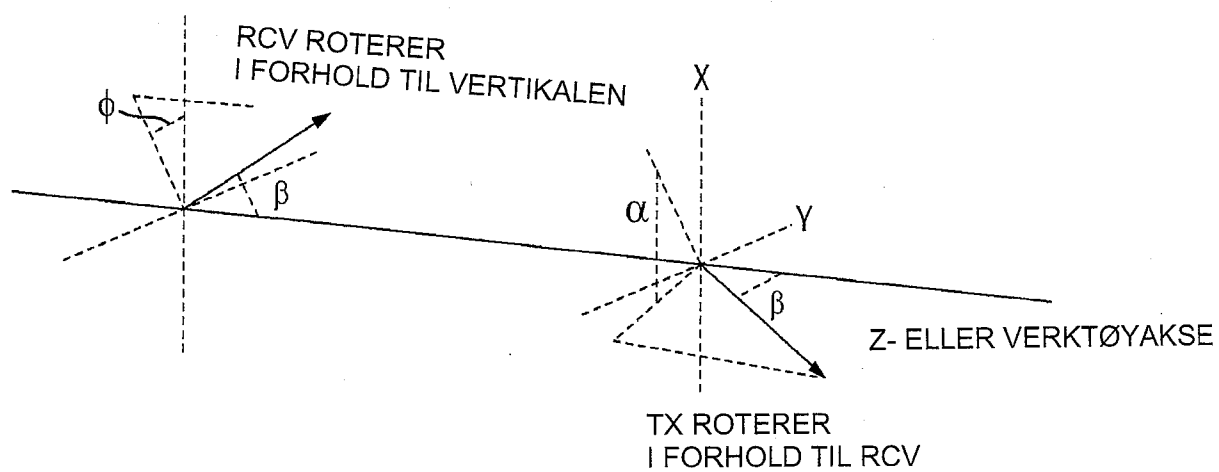


FIG. 22

18/49

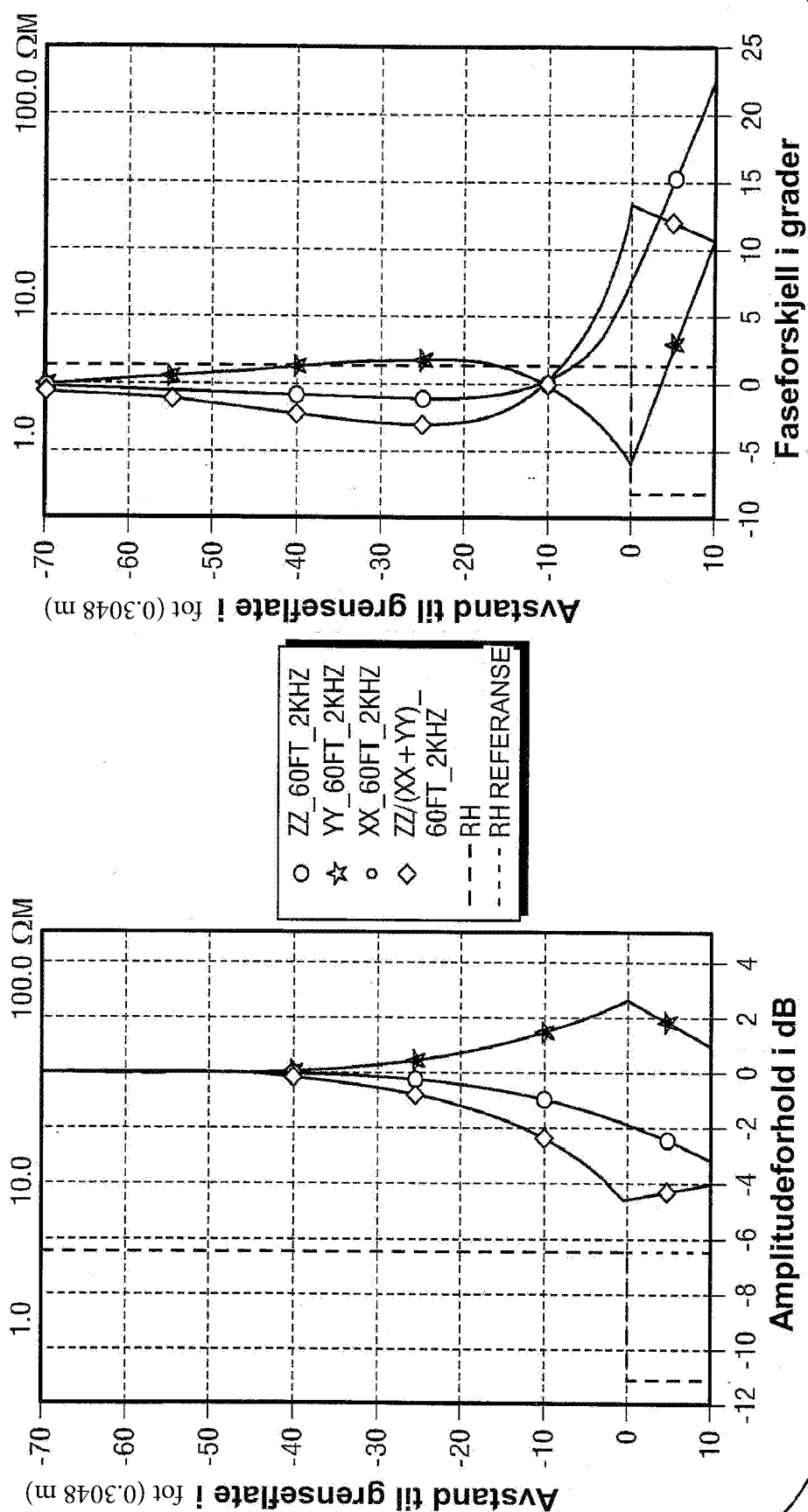


FIG. 23

19/49

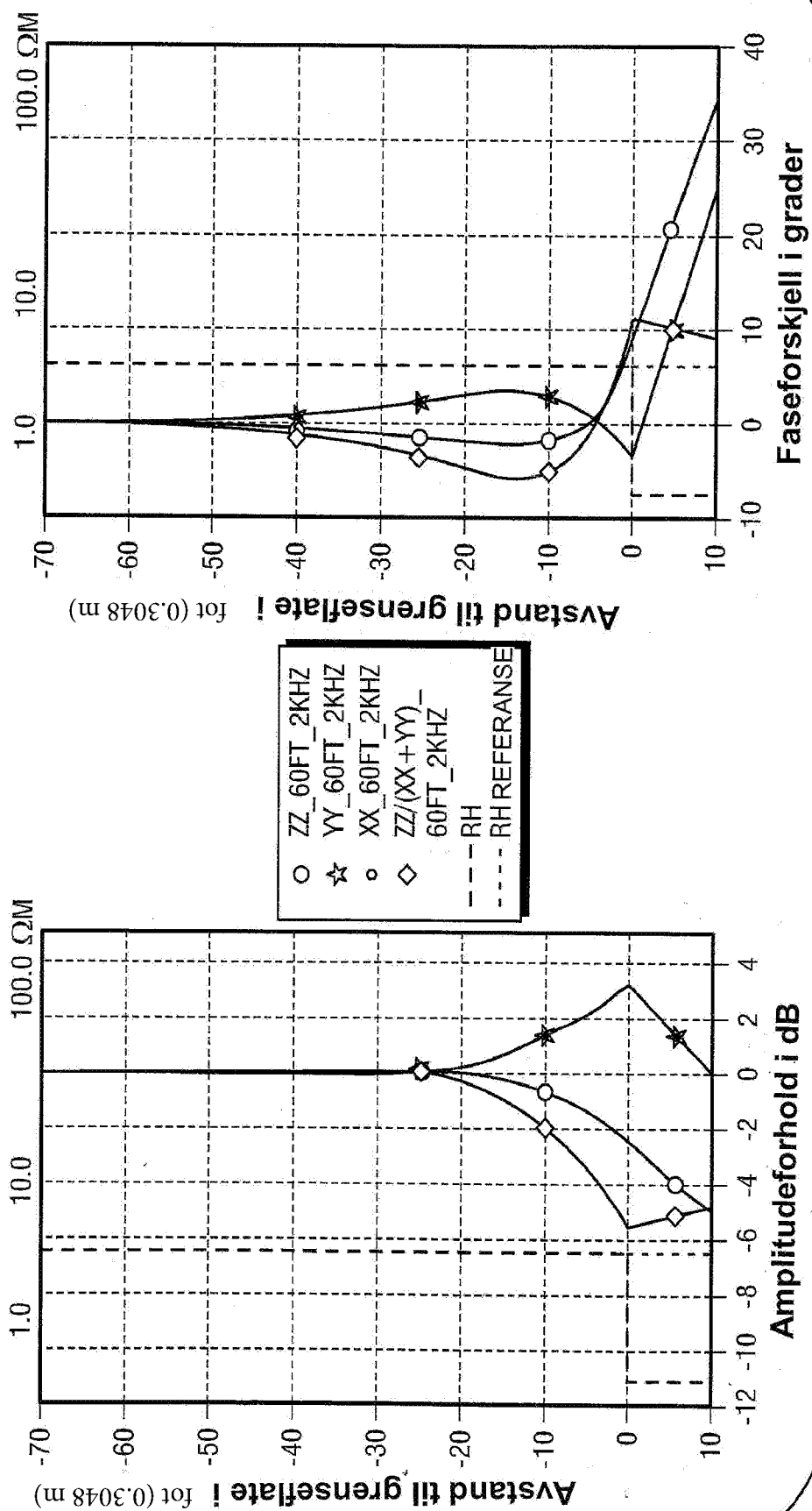


FIG. 24

20/49

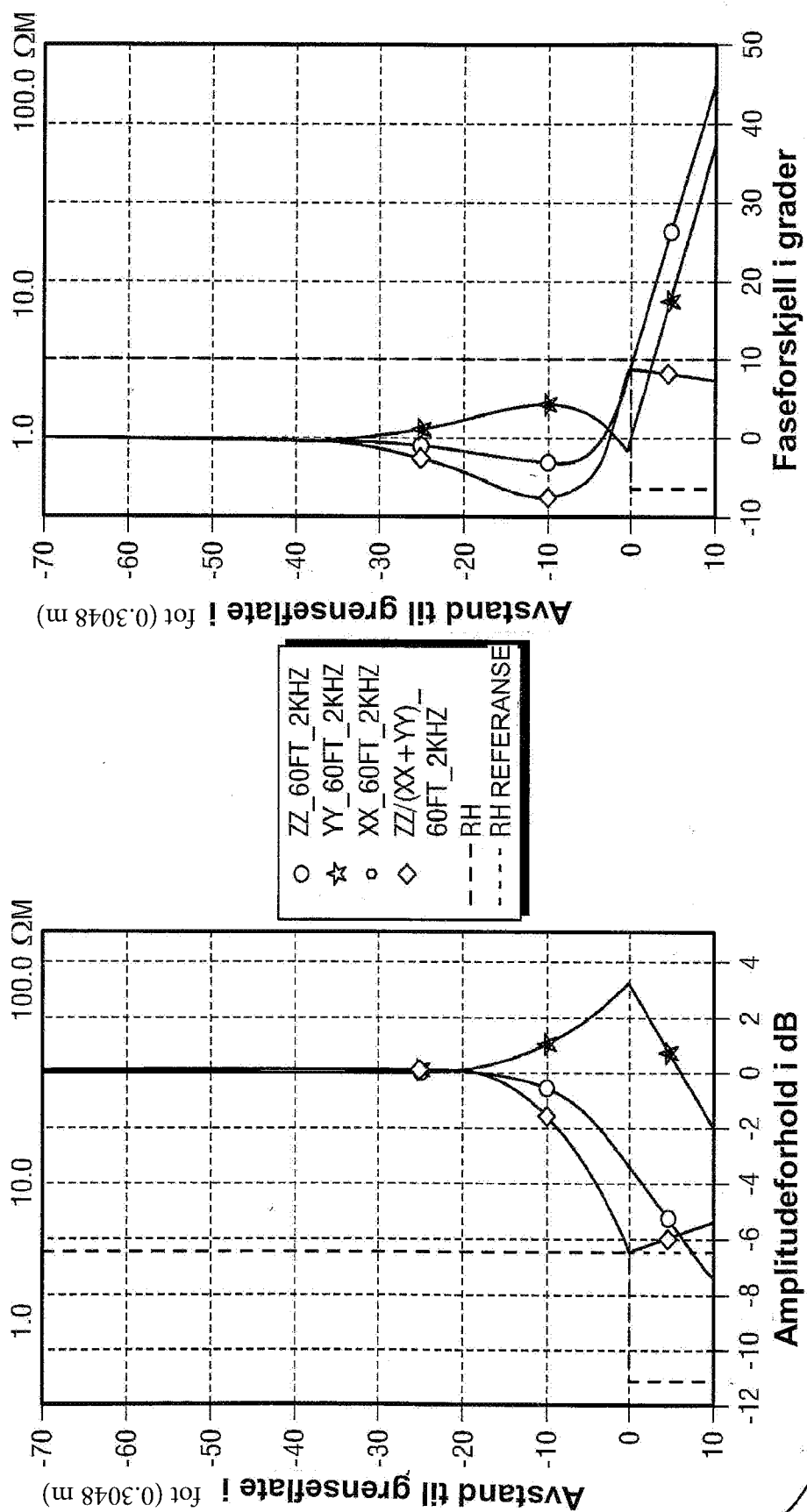


FIG. 25

21/49

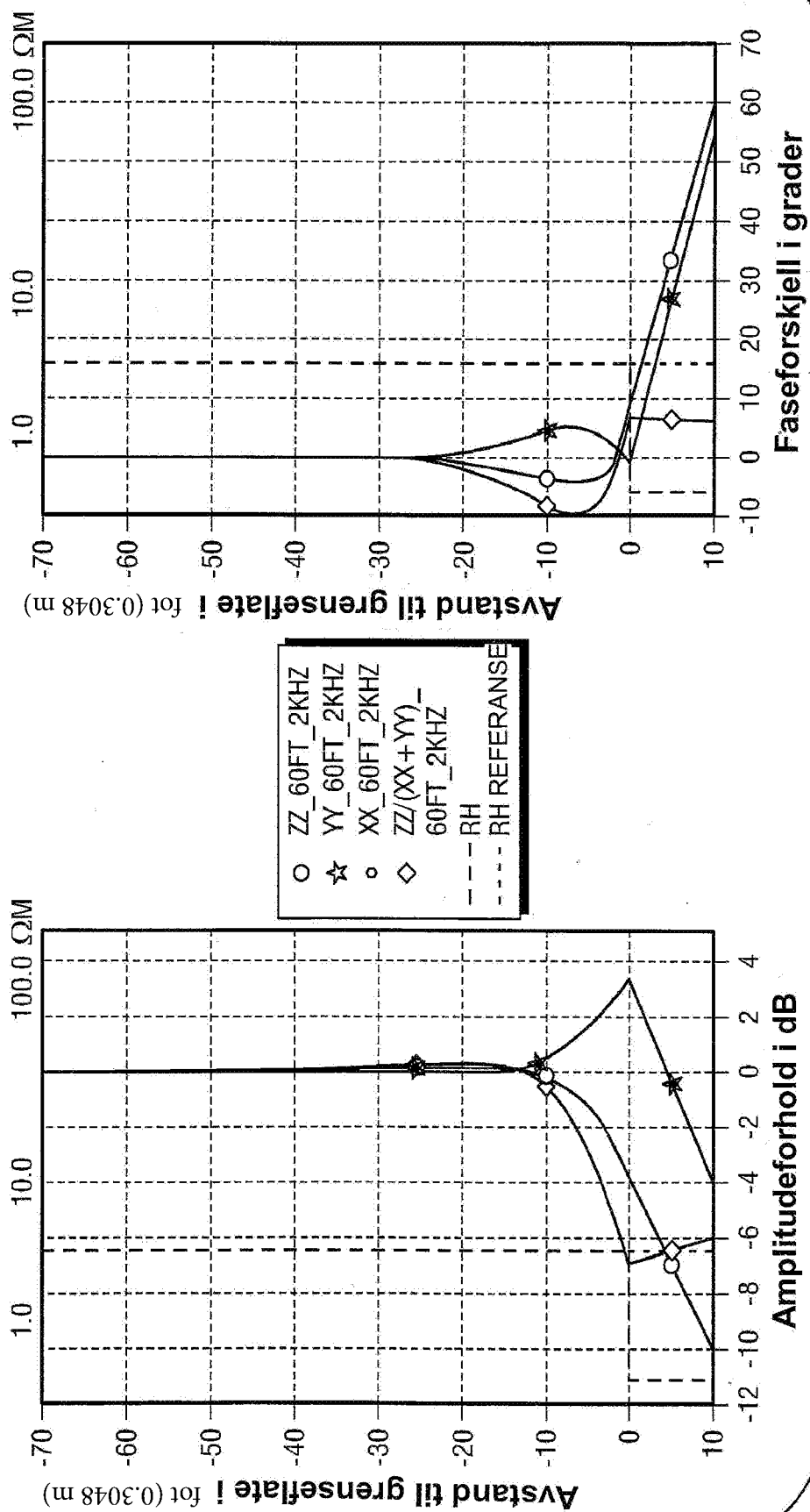


FIG. 26

22/49

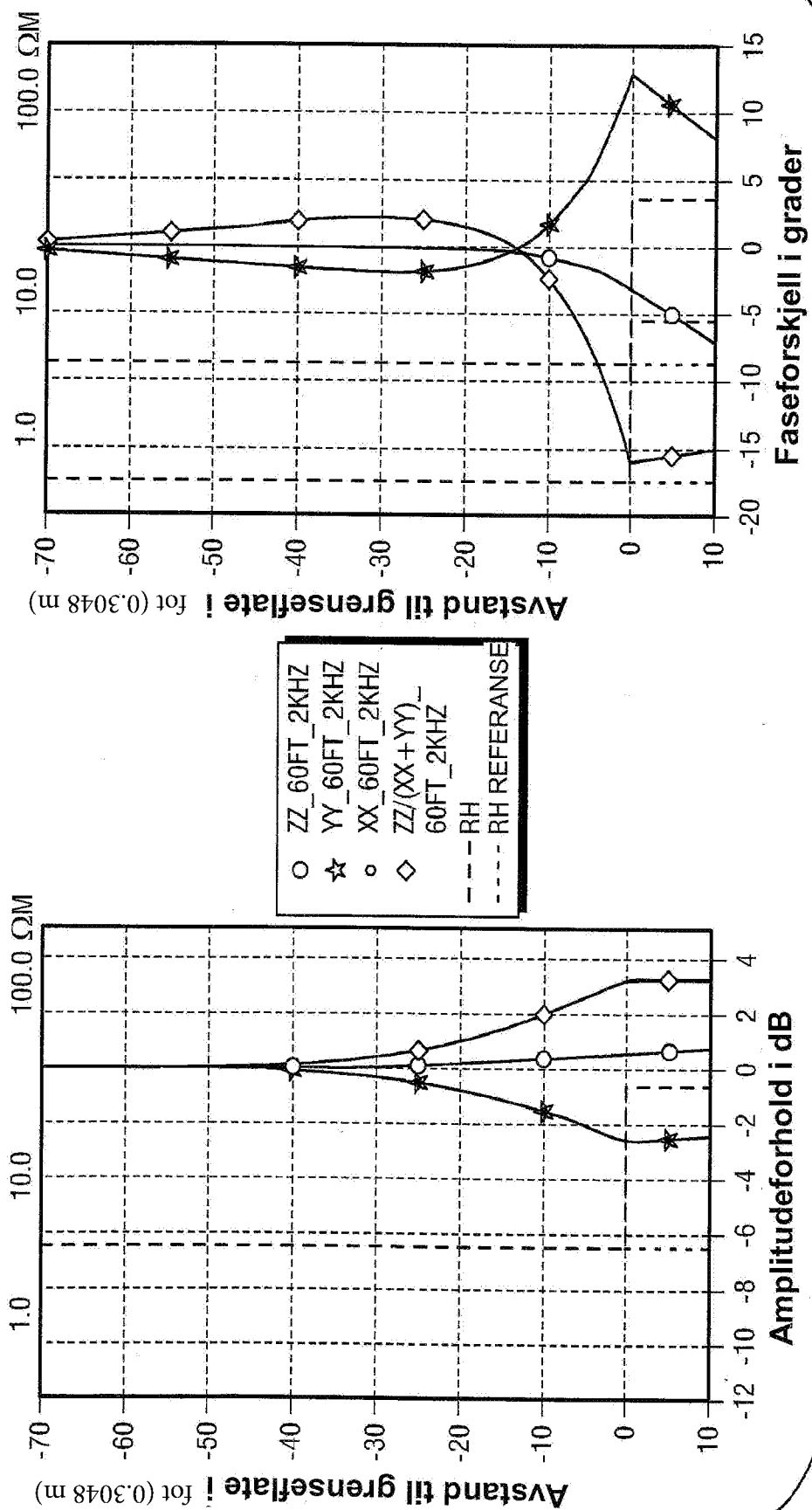


FIG. 27

23/49

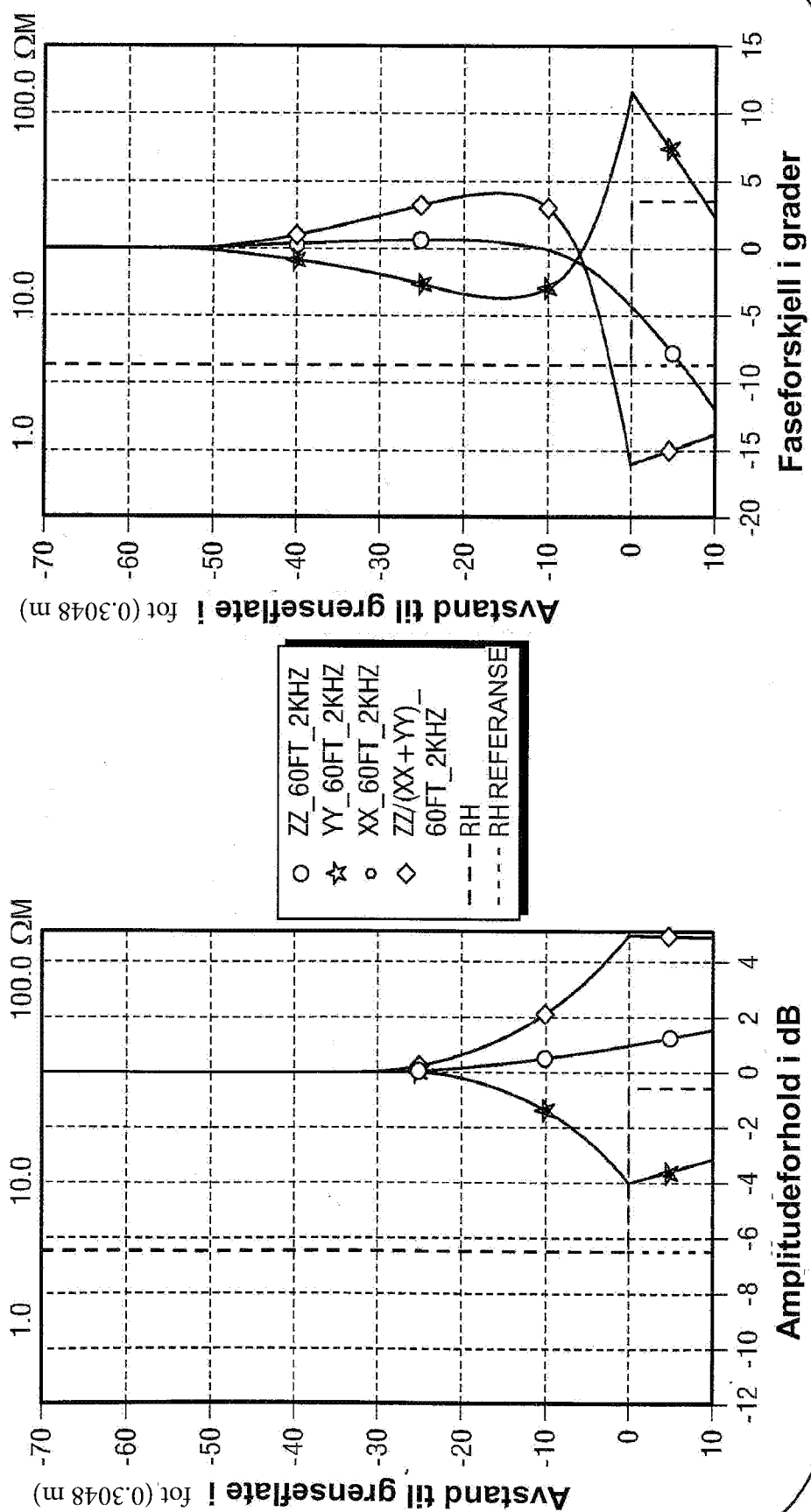


FIG. 28

24/49

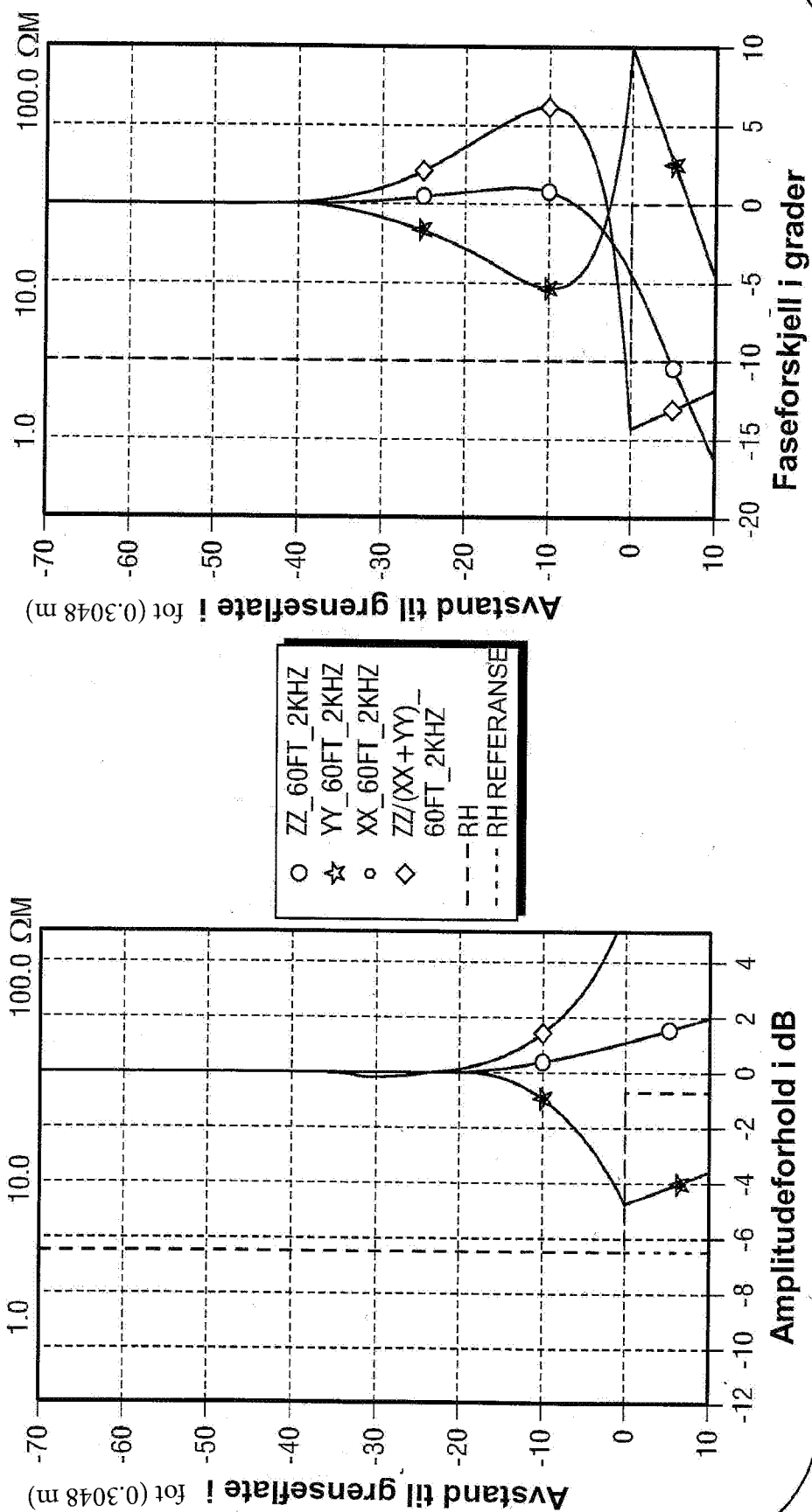


FIG. 29

25/49

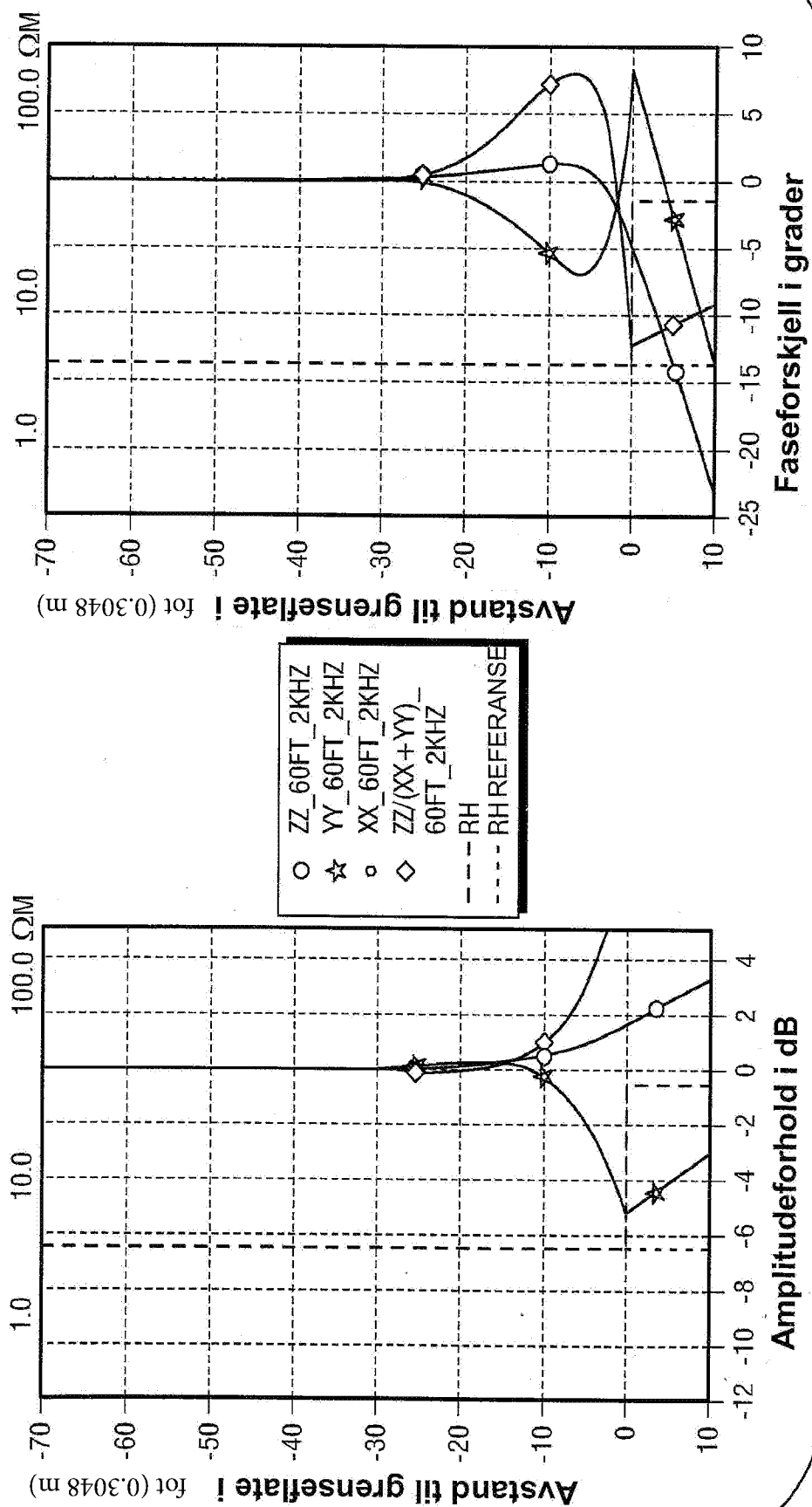


FIG. 30

26/49

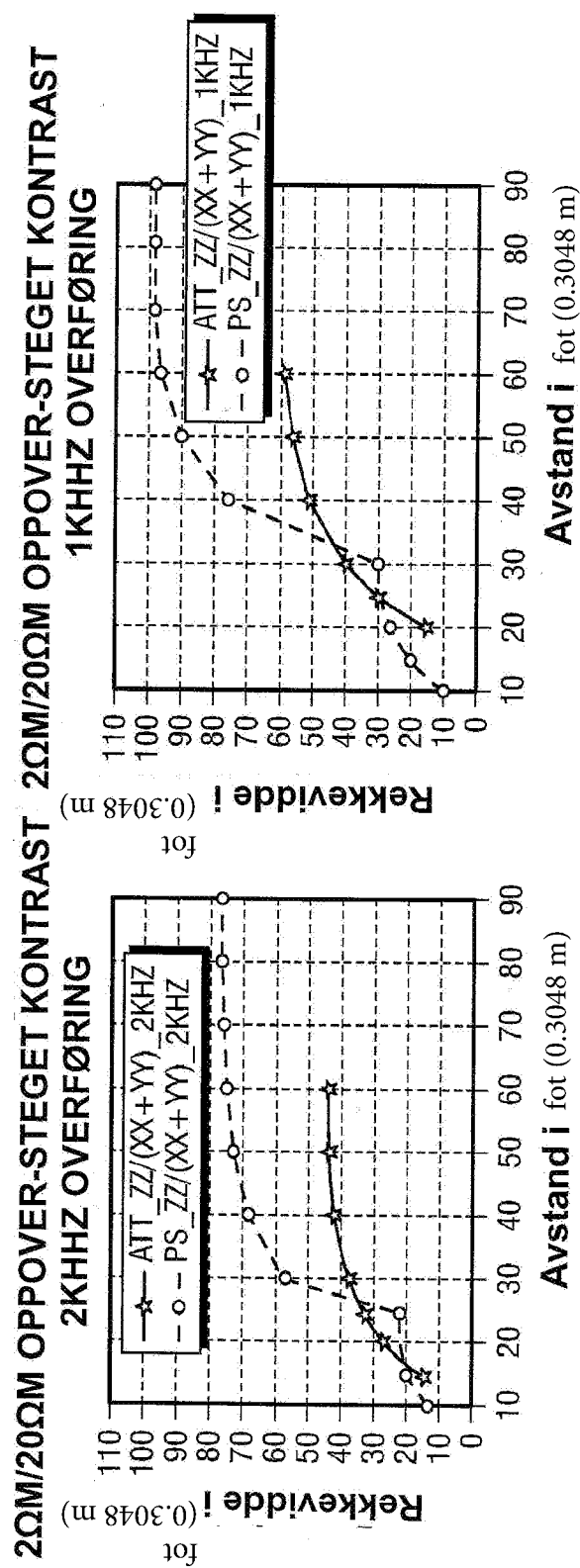


FIG. 31A

27/49

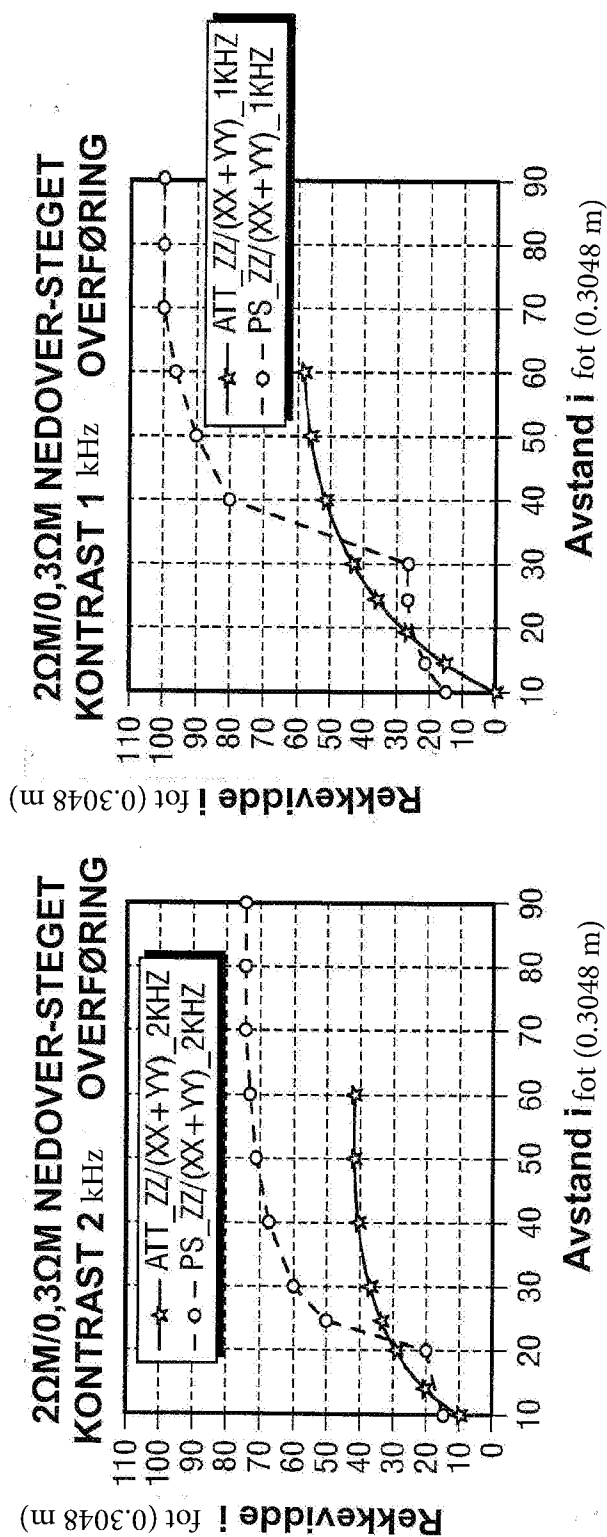


FIG. 31B

28/49

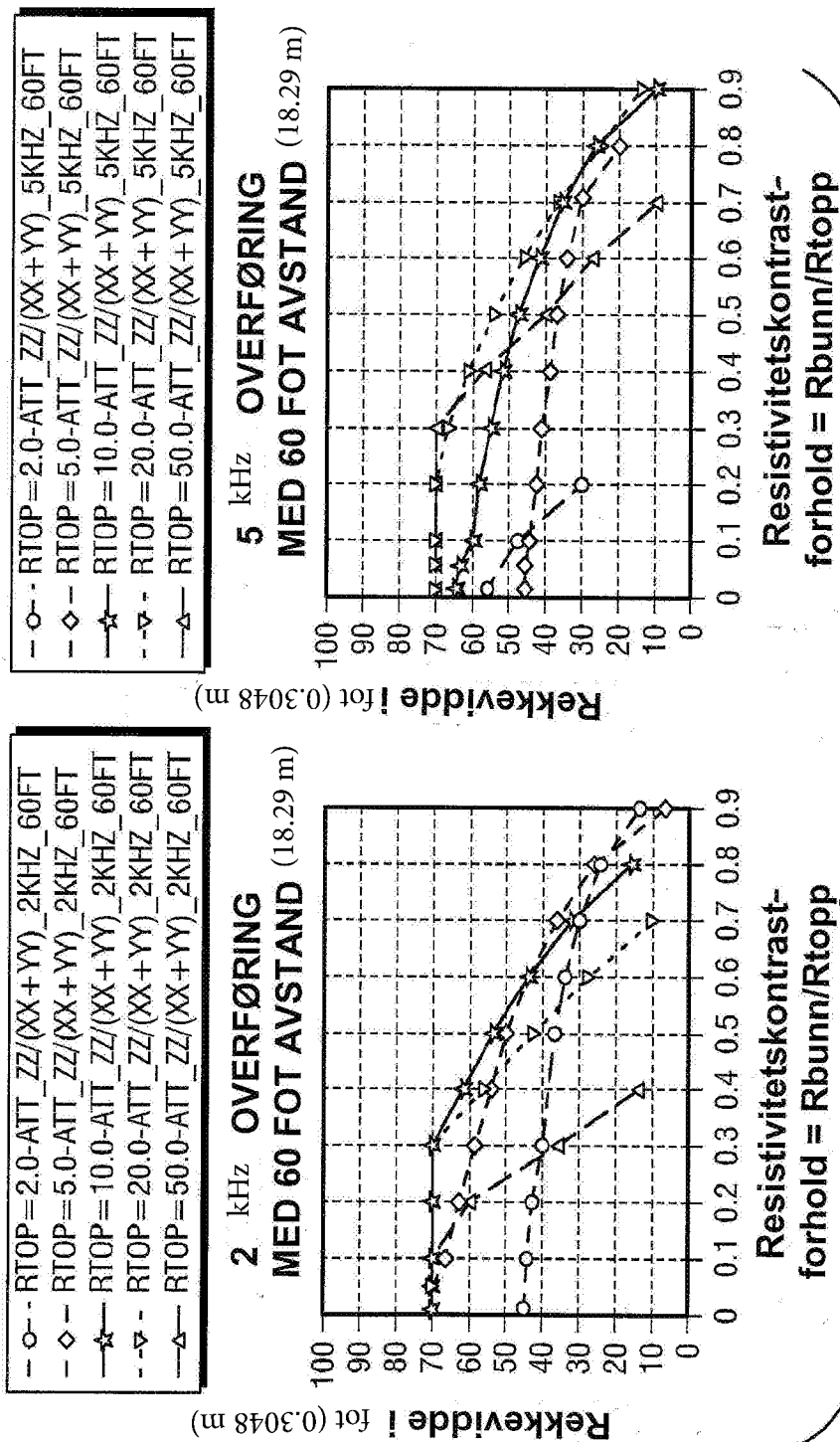


FIG. 32

29/49

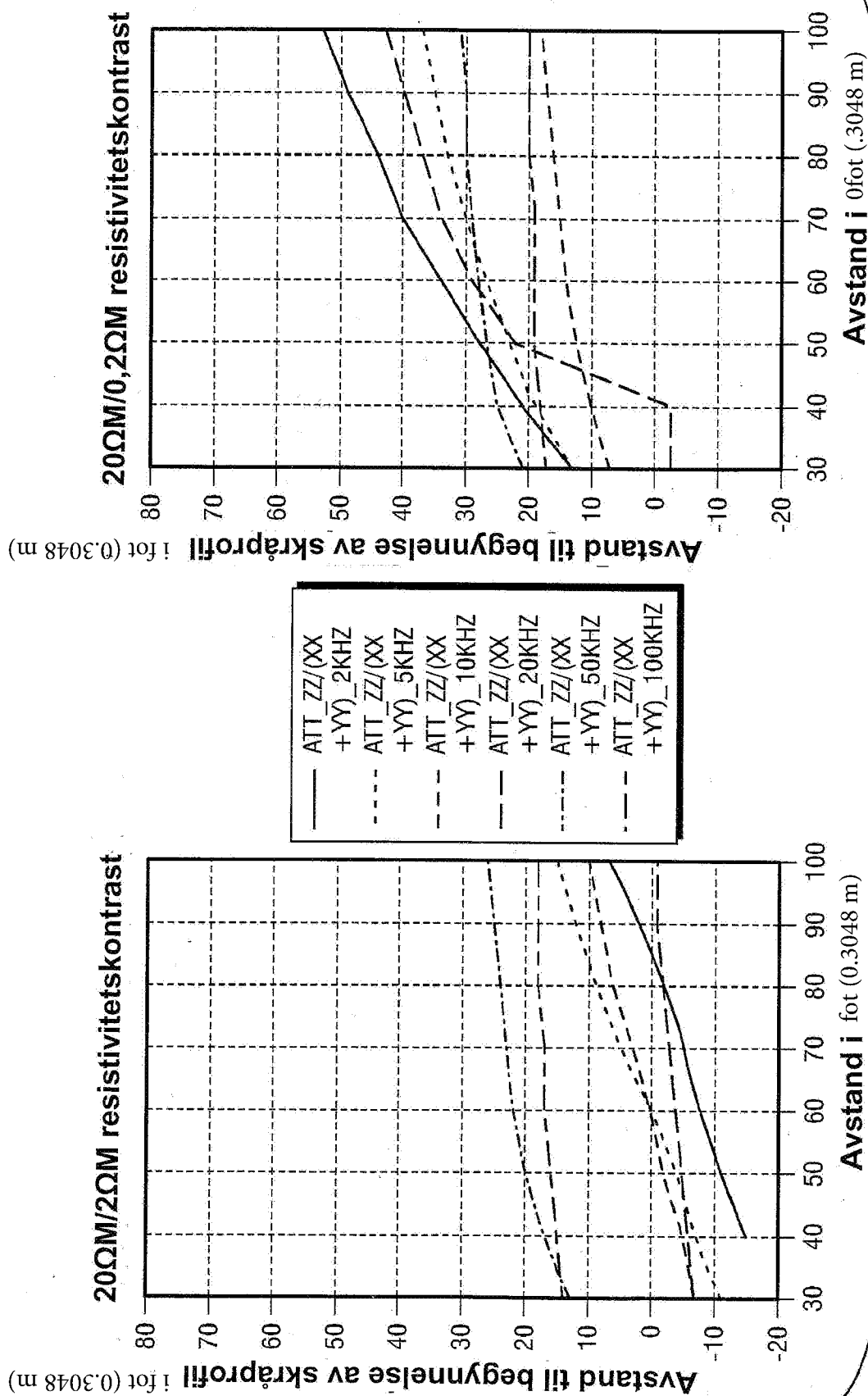


FIG. 33A

30/49

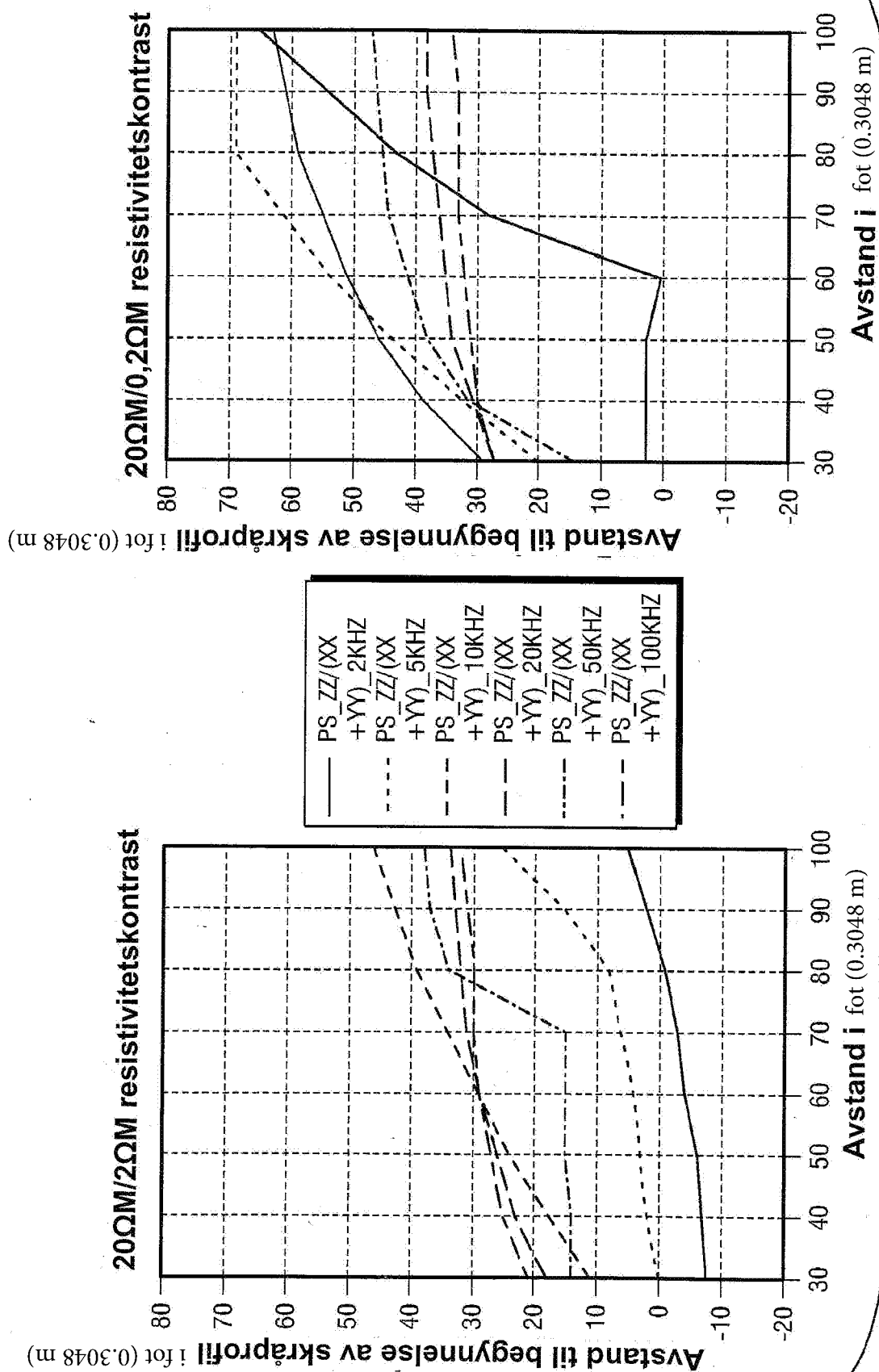


FIG. 33B

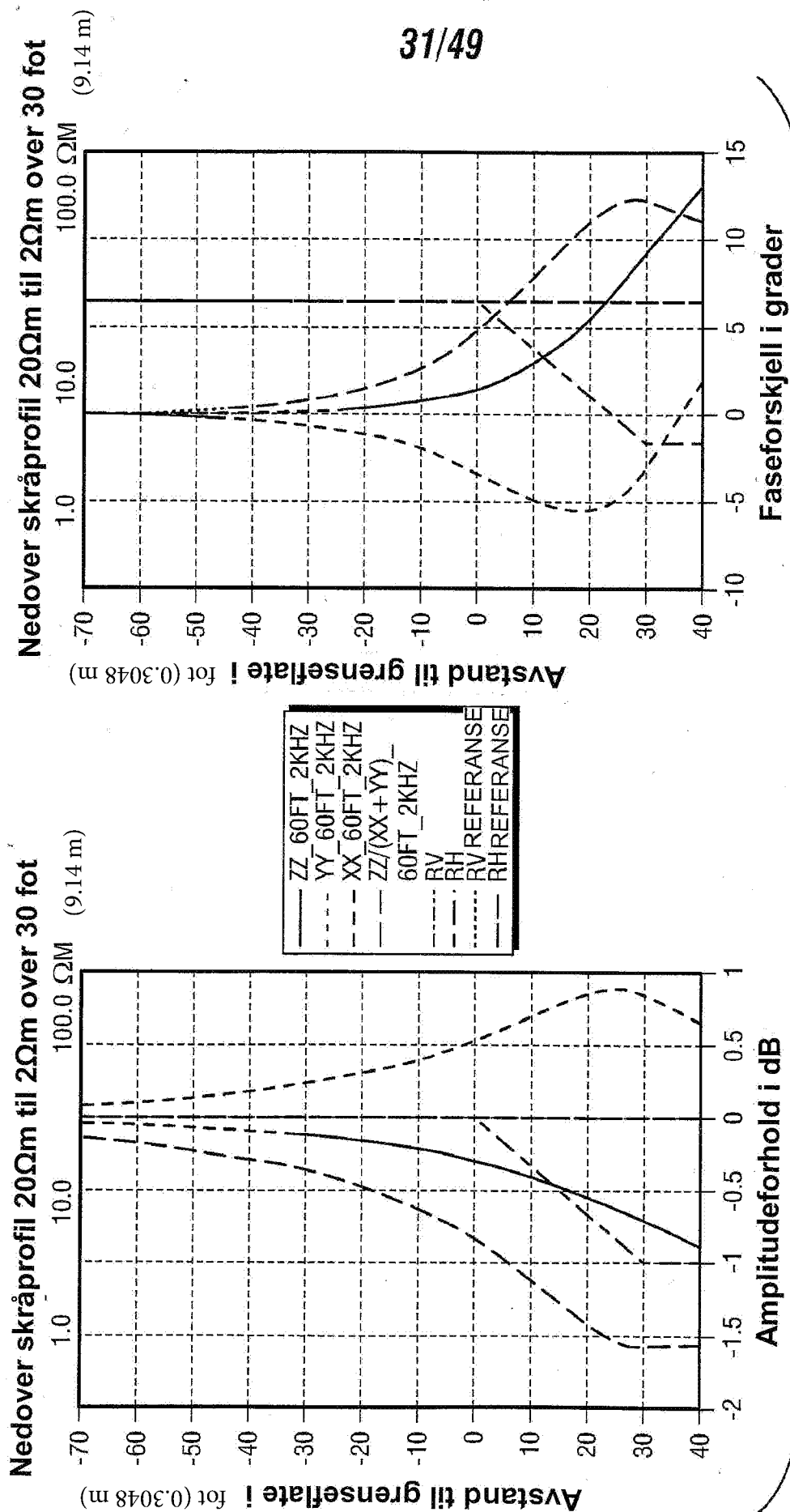


FIG. 34A

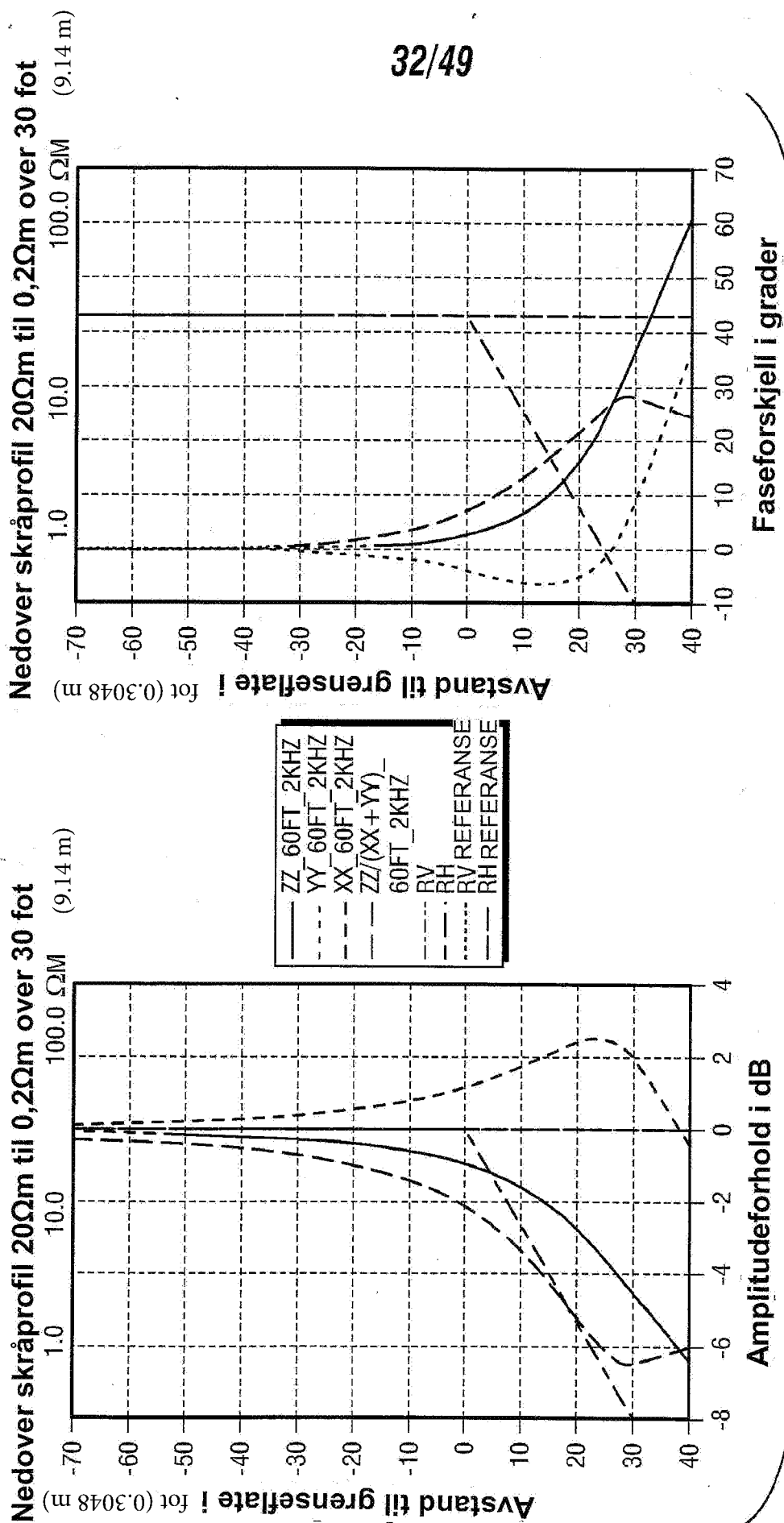
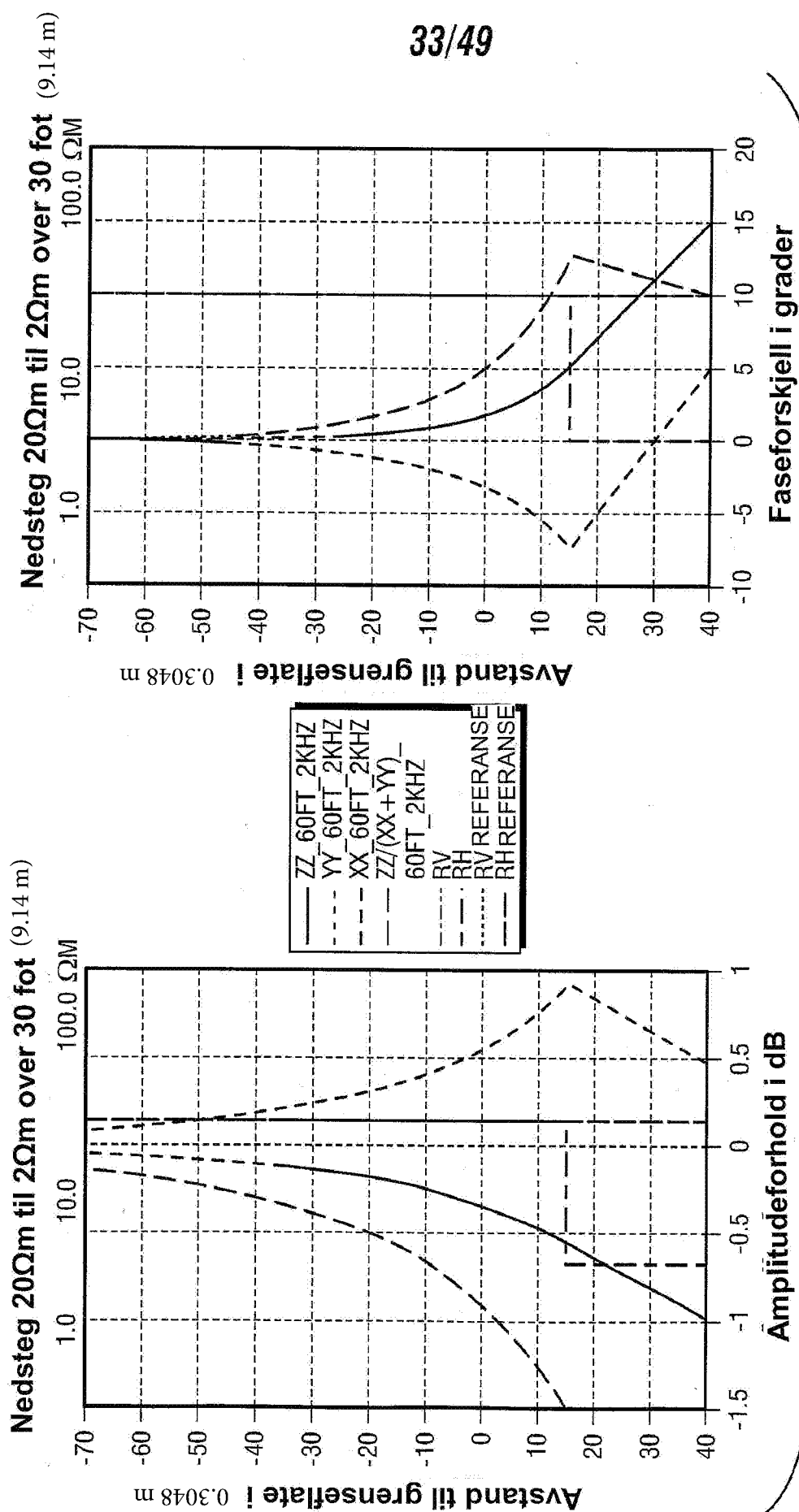
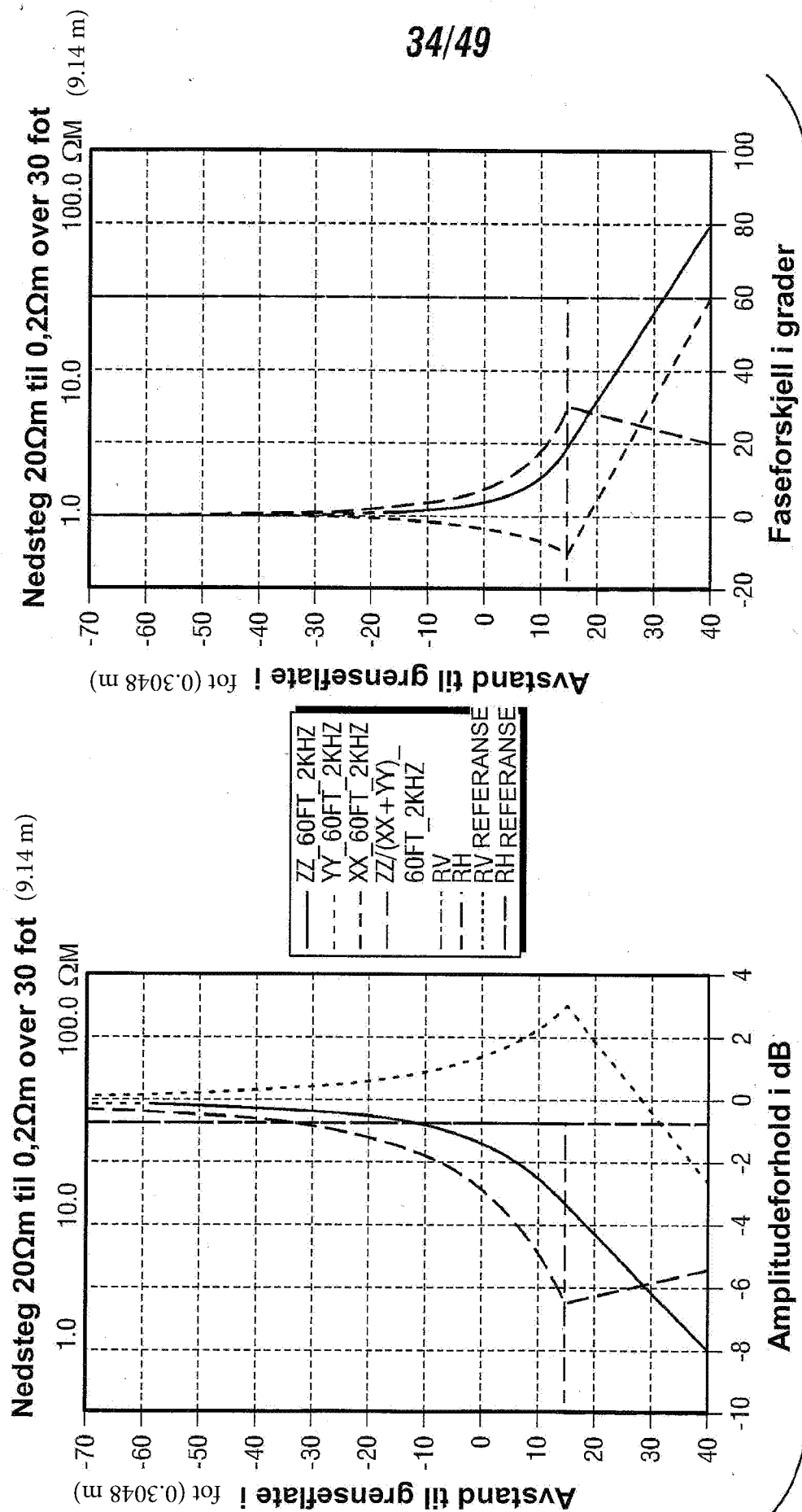


FIG. 34B





35/49

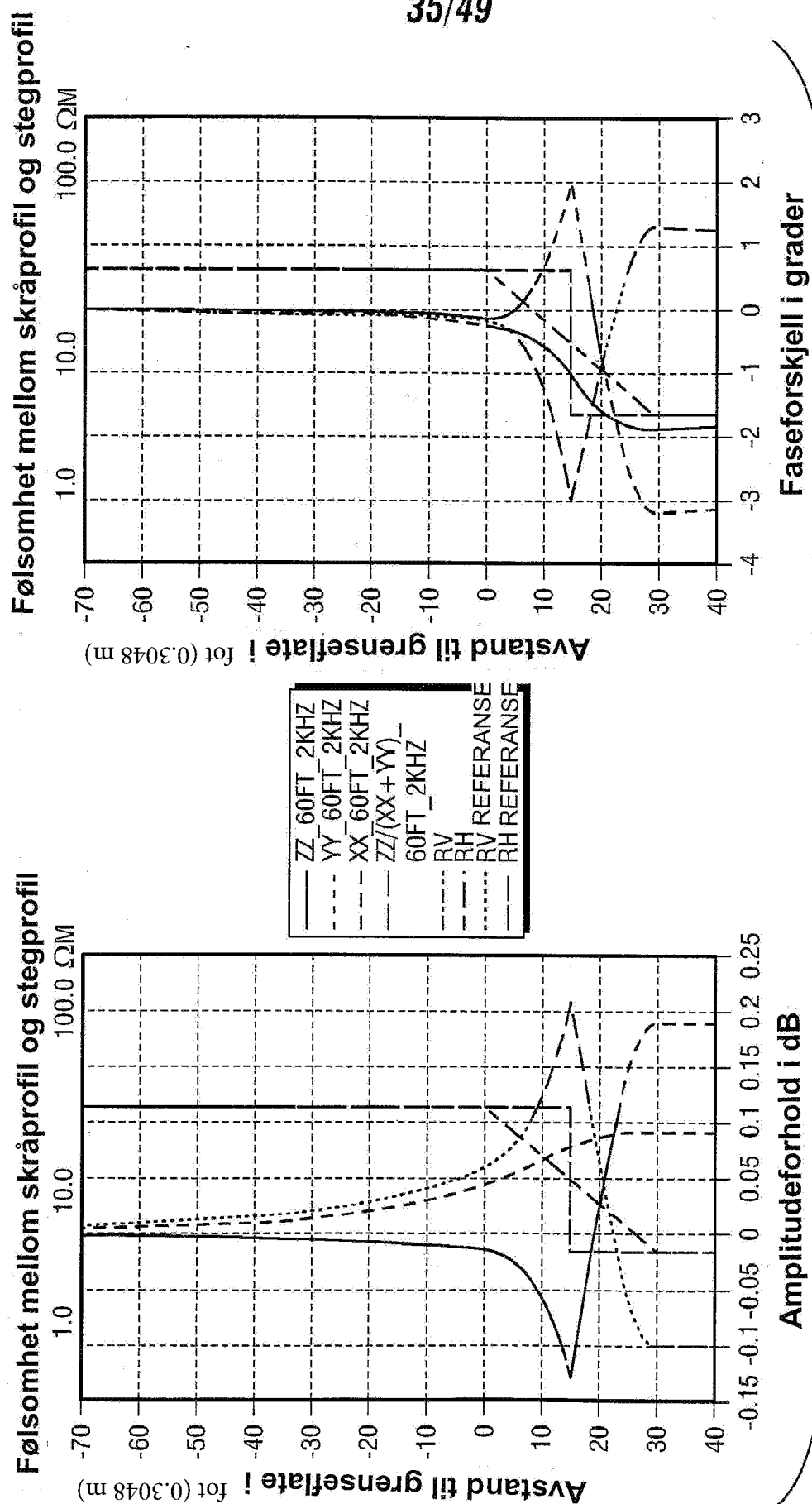


FIG. 34E

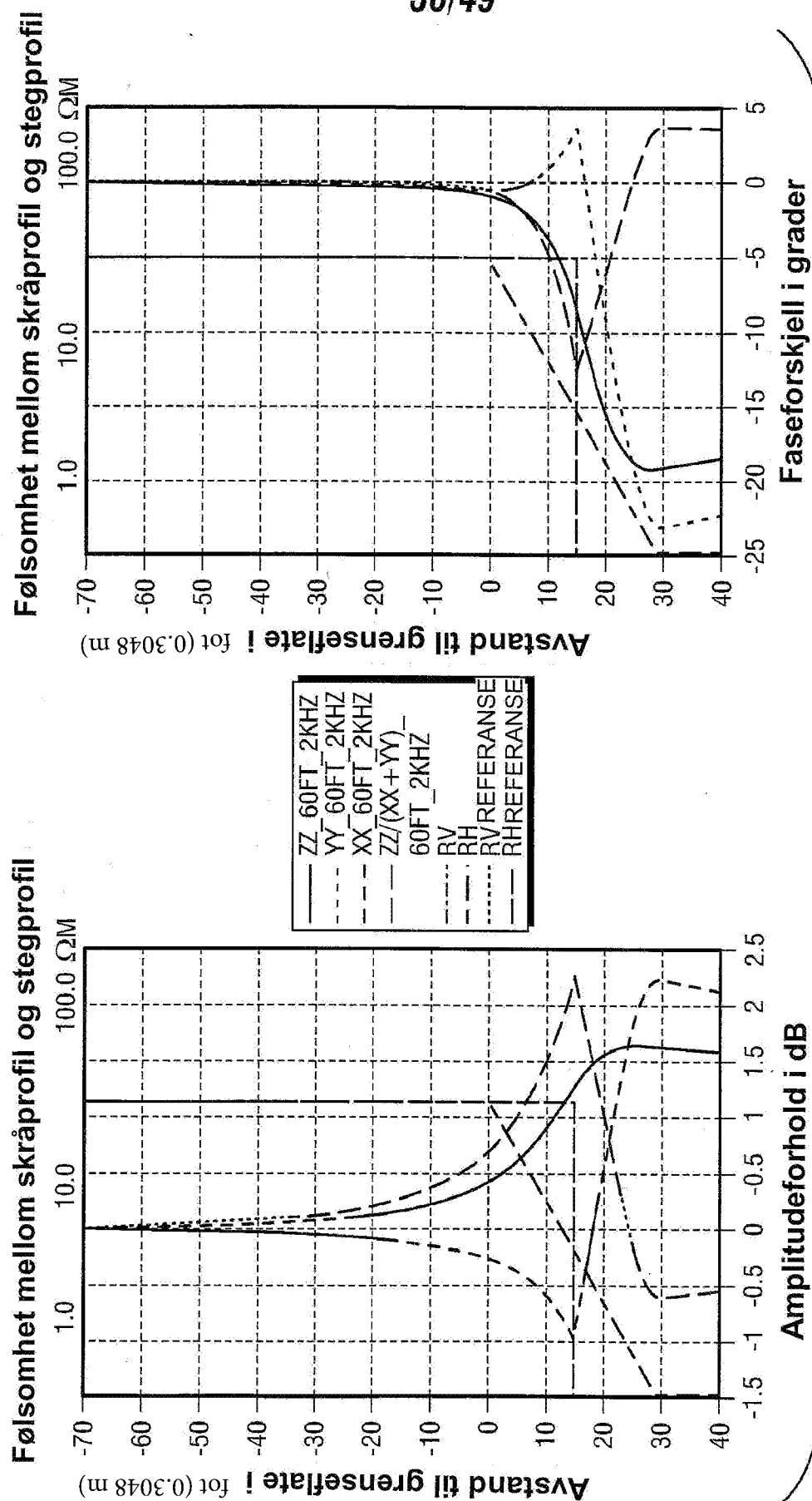


FIG. 34F

37/49

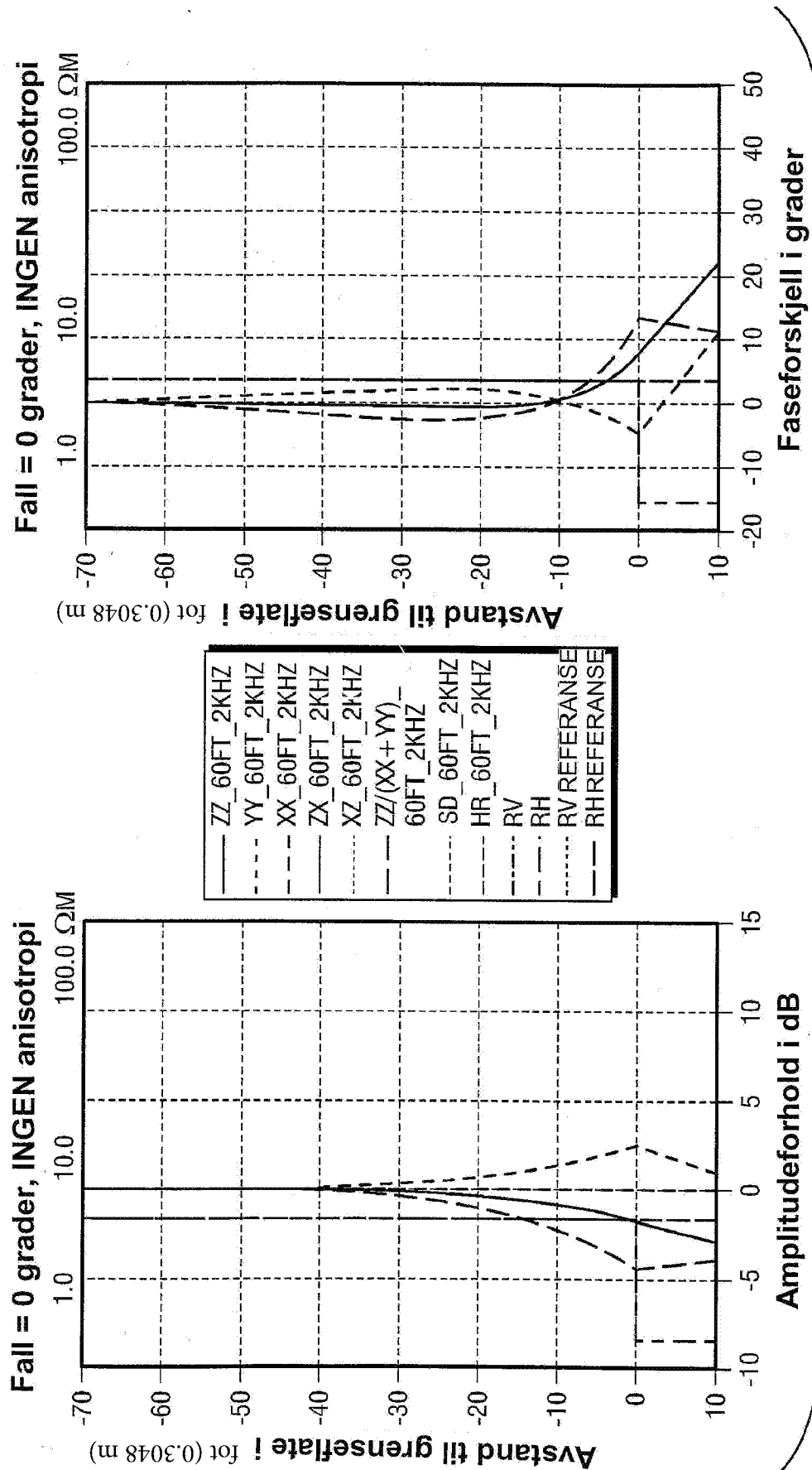


FIG. 35A

38/49

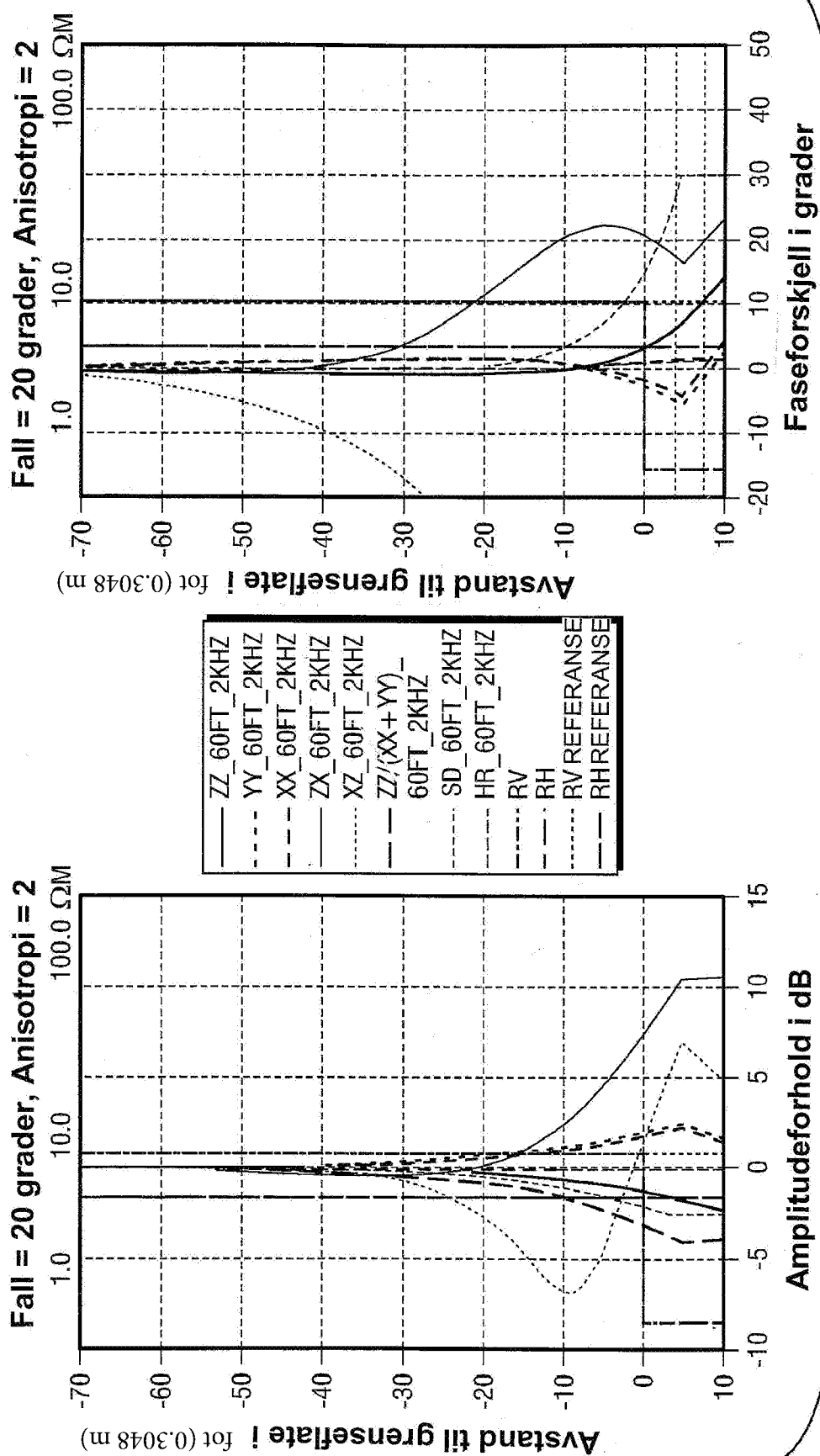


FIG. 35B

39/49

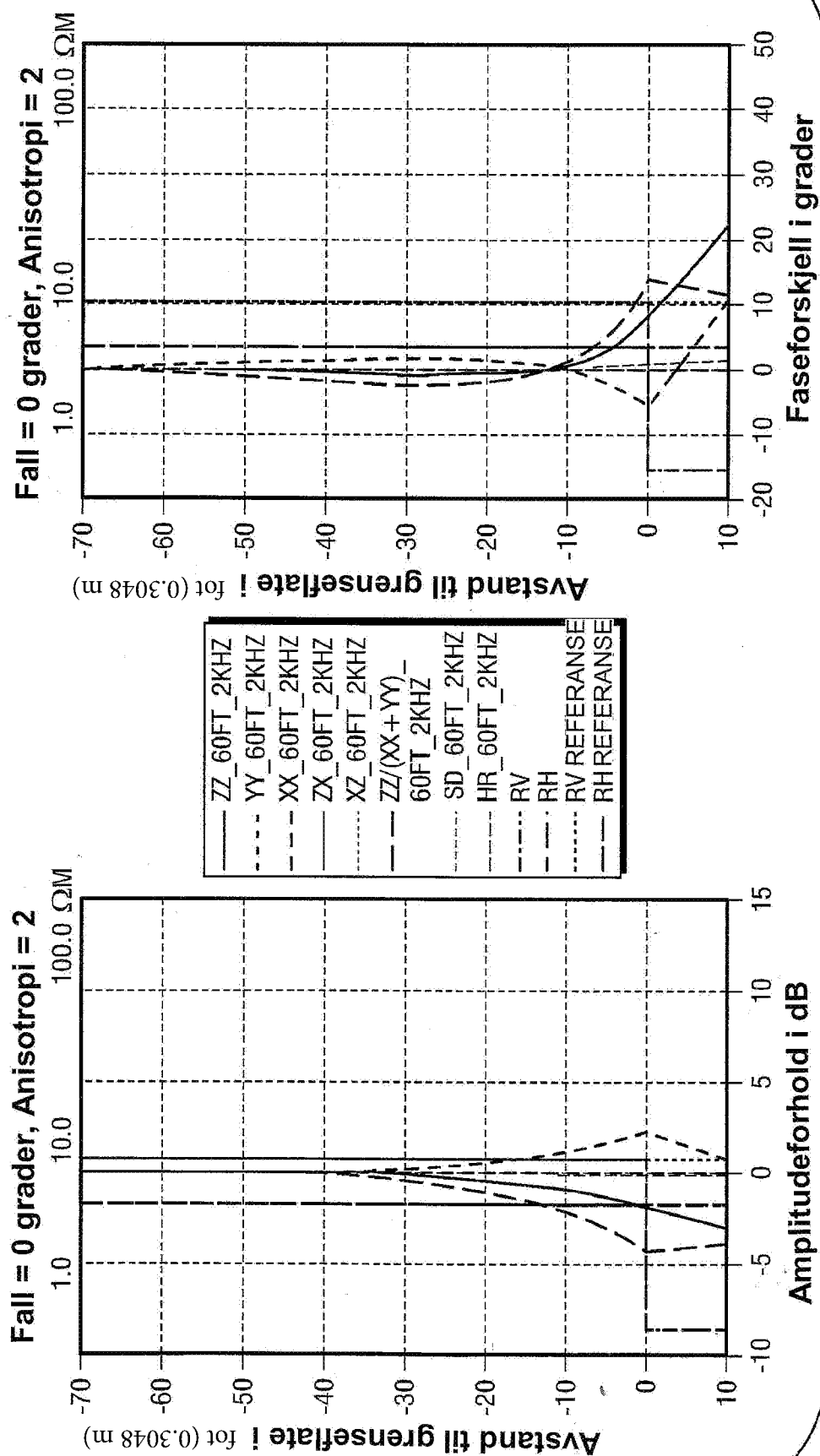


FIG. 35C

40/49

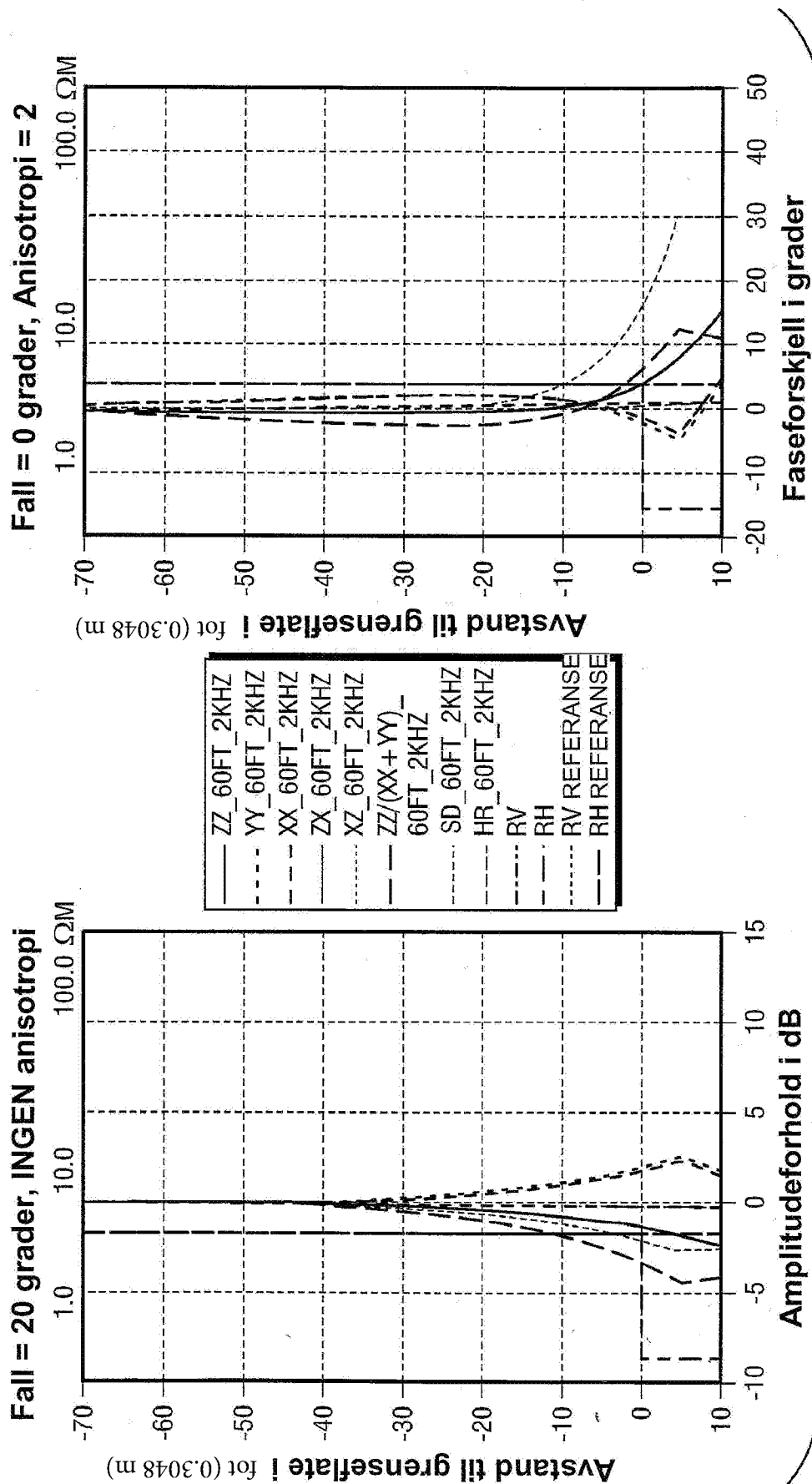


FIG. 35D

41/49

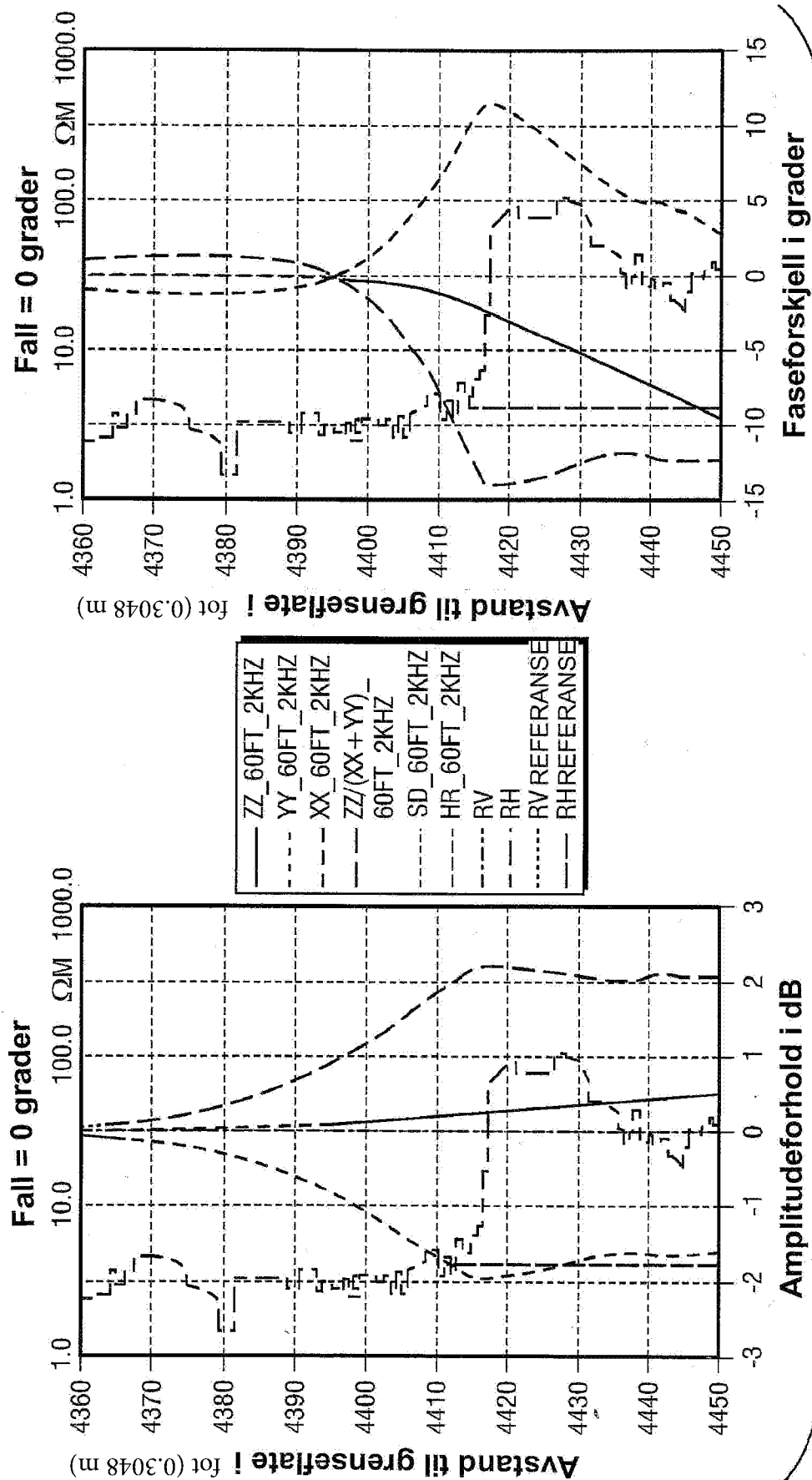


FIG. 36A

42/49

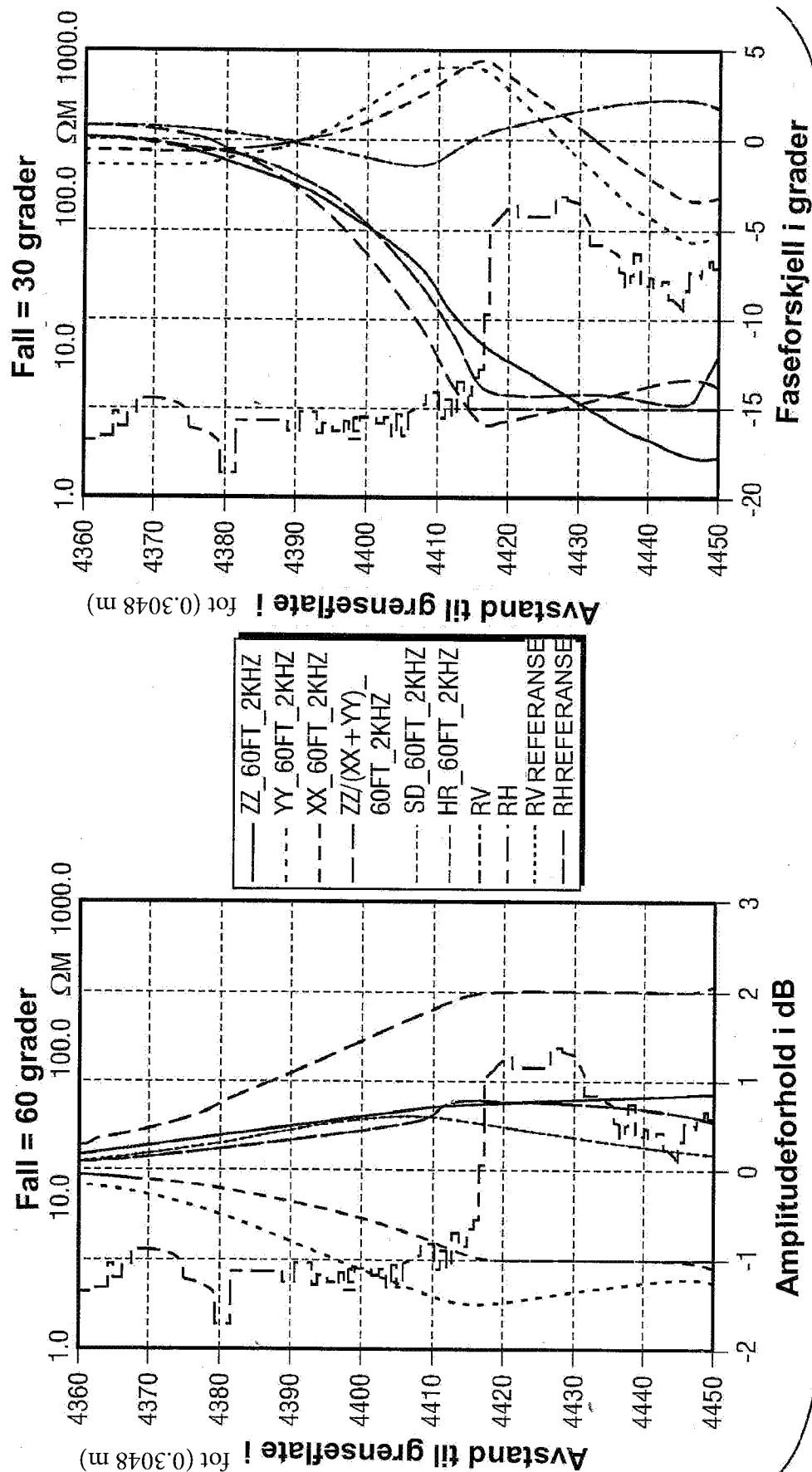


FIG. 36B

43/49

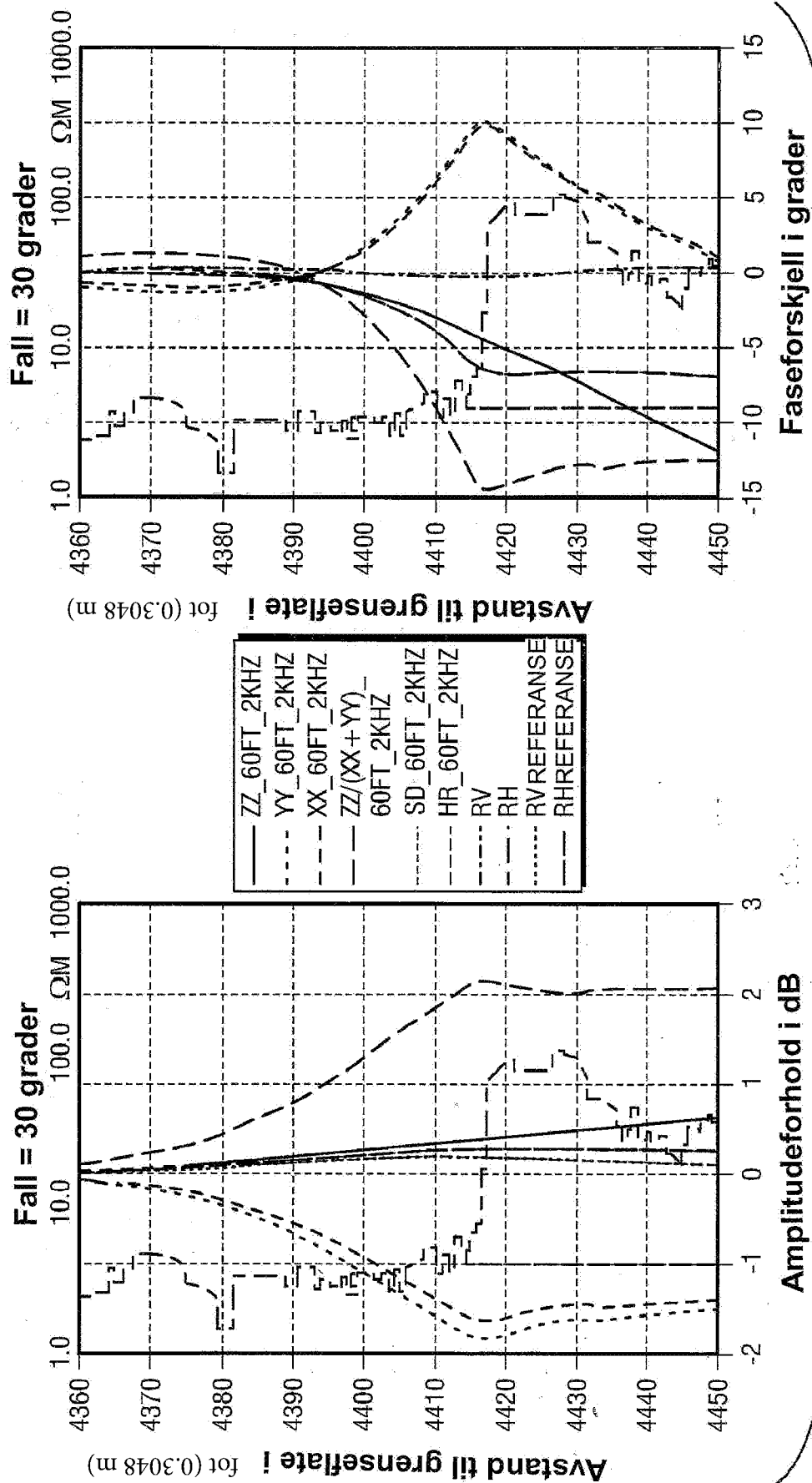


FIG. 36C

44/49

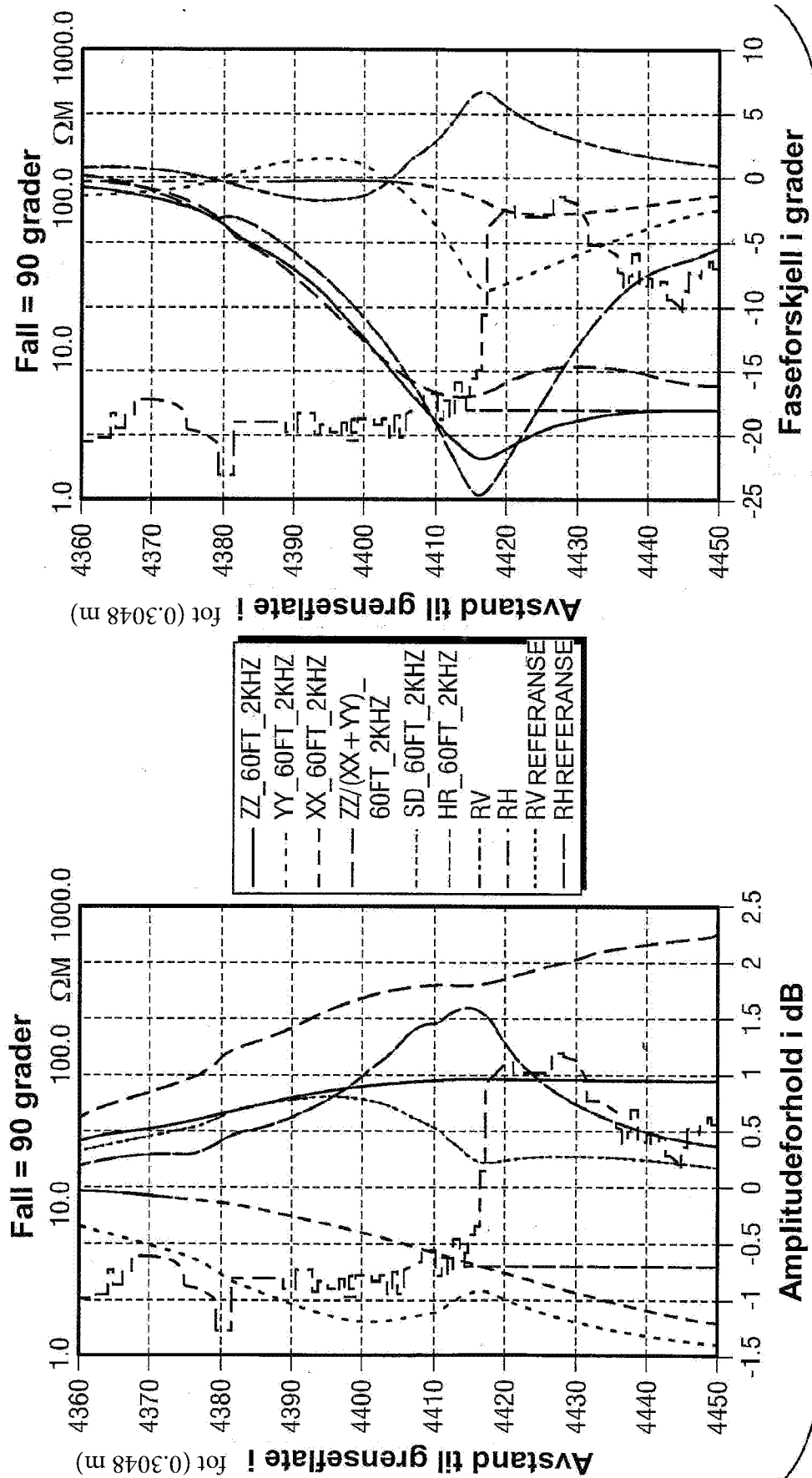


FIG. 36D

45/49

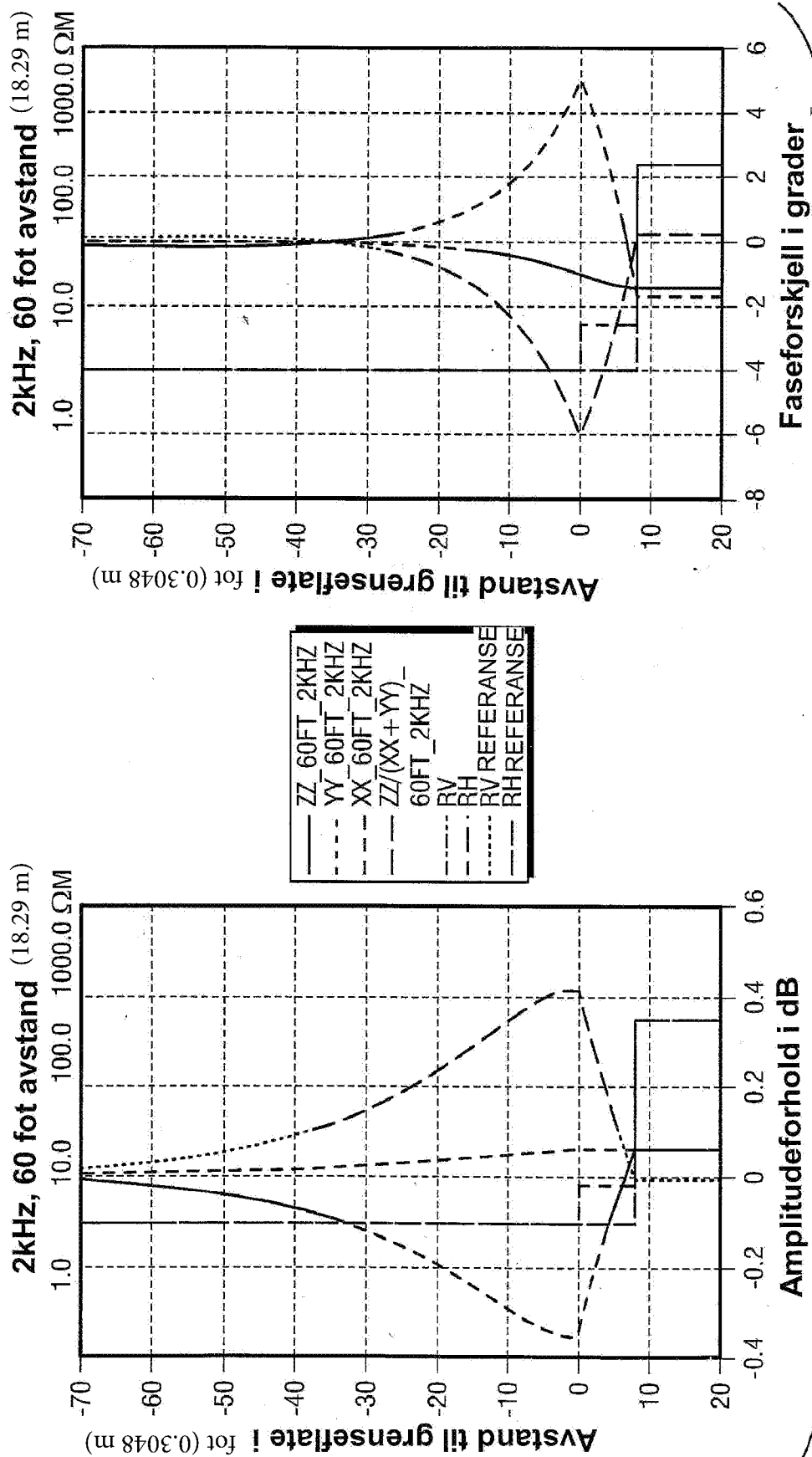


FIG. 37A

46/49

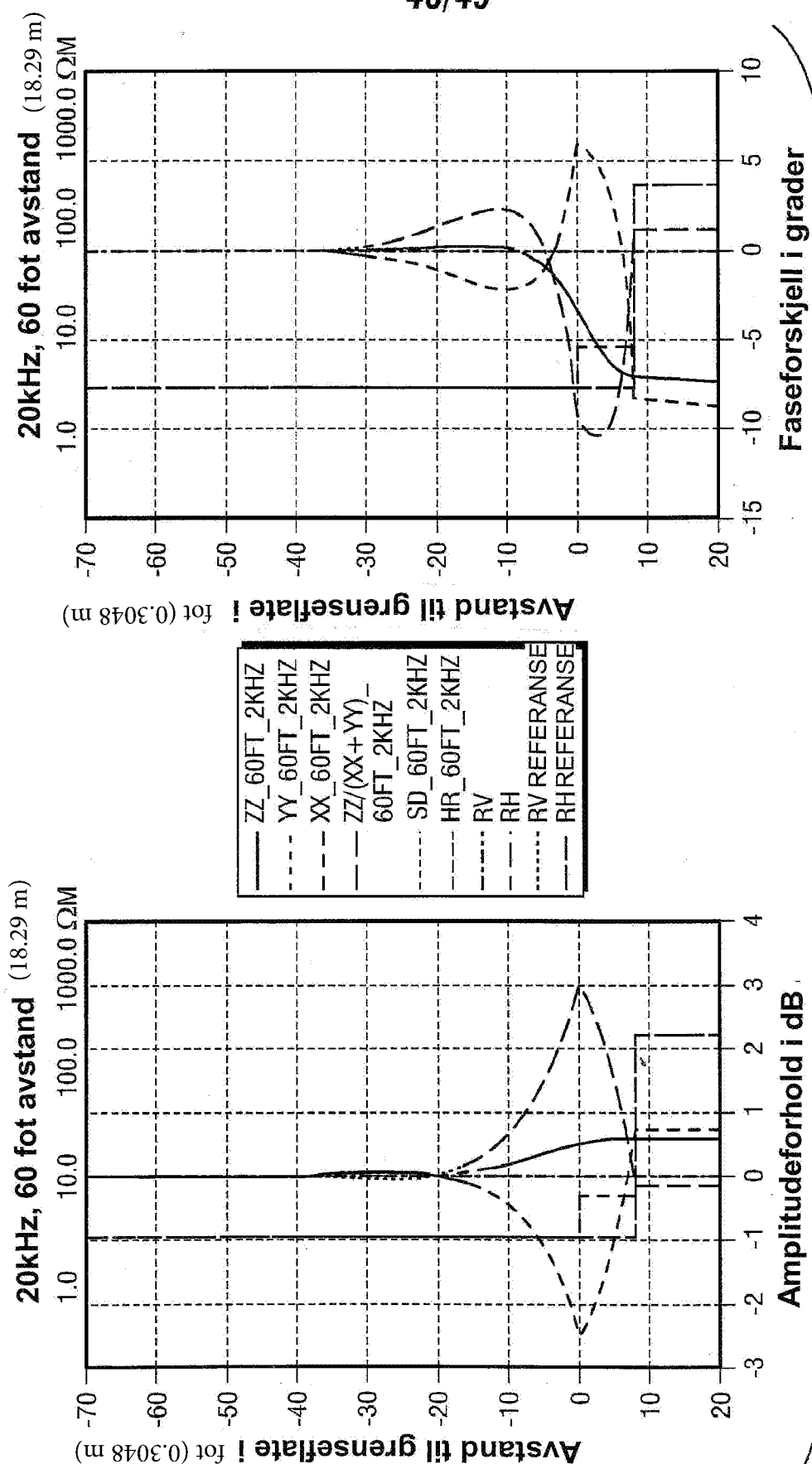


FIG. 37B

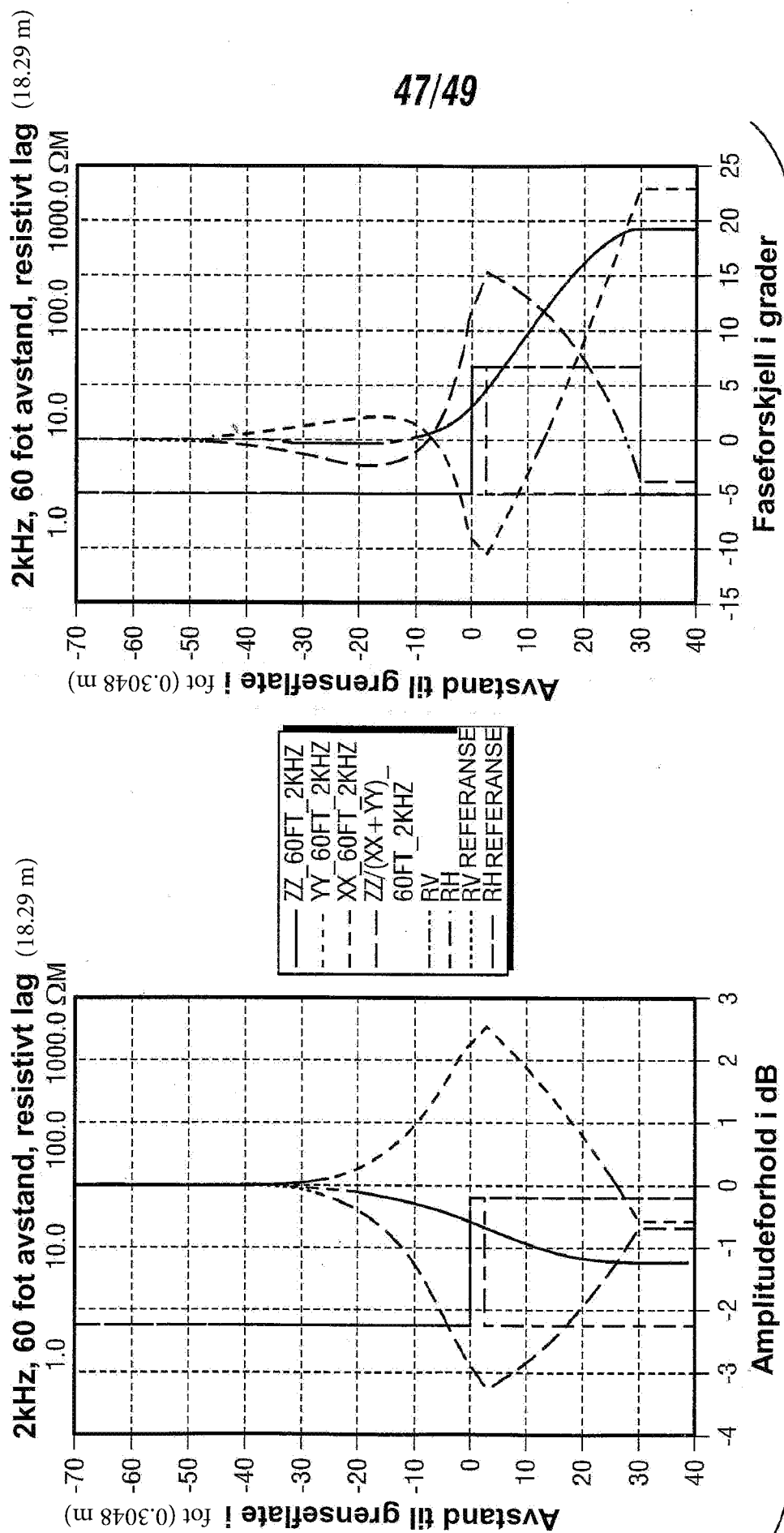
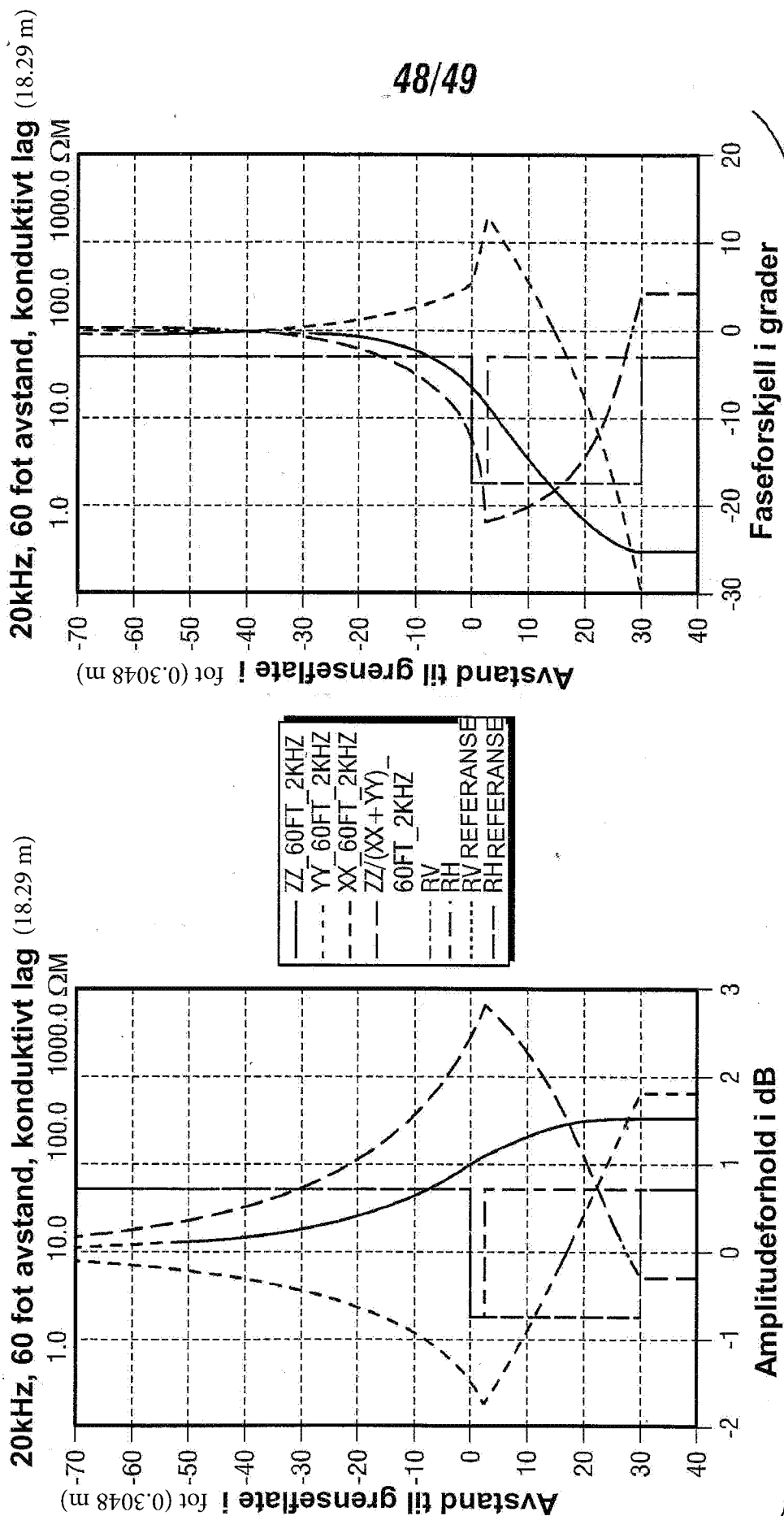


FIG. 38A



49/49

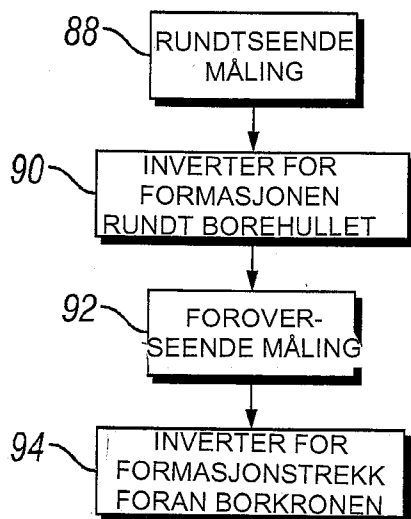


FIG. 39

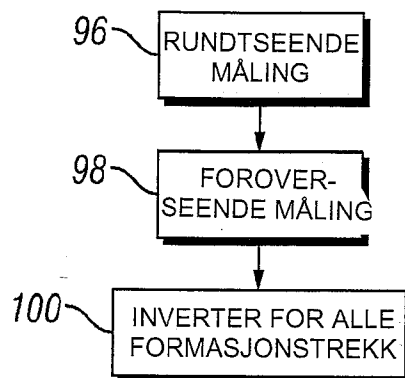


FIG. 40

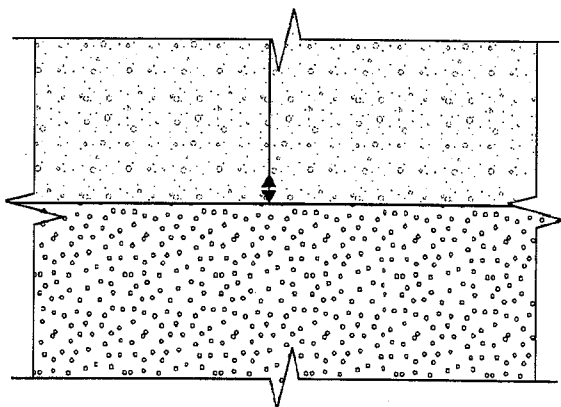


FIG. 41

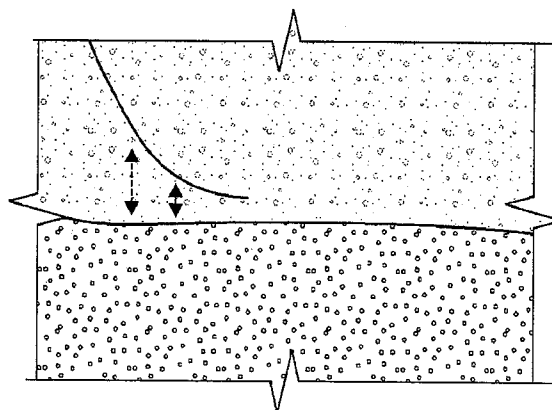


FIG. 42

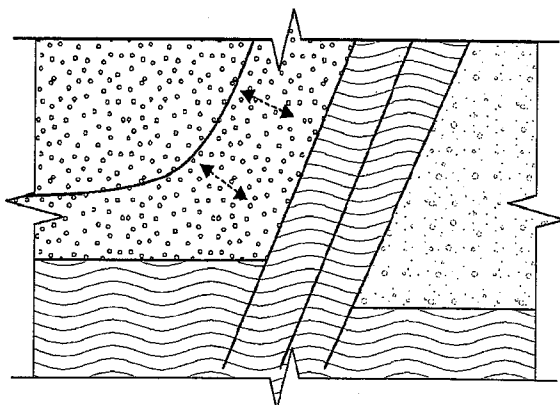


FIG. 43