

Fig. 2

Opfindelsen vedrører en fremgangsmåde ved forstemt eksemplering af en række impulser med stabil, høj repetitionsfrekvens, f_r , som er modtaget af et støjgenererende detektorkredsløb, især til måling af impulsforbredning gennem en optisk fiber, hvis udgangsende er koblet til detektorens indgang.

Opfindelsen er specielt anvendelig til måling af impulsforbredning i en multimode optisk fiber. Impulsforbredning betegnes også som dispersion og dækker over det fænomen, at impulsbredden forøges, når en lysimpuls udbreder sig i den optiske fiber, hvilket beror på, at de forskellige svingningstyper, der tilsammen udgør signalet, udbreder sig med lidt forskellige hastigheder gennem fiberen som følge af, at fiberen i praksis ikke kan fremstilles med ideelle parametre. Pulsforbredningen er i det væsentlige bestemmende for fiberens transmissionskapacitet til telekommunikation, idet stigende pulsforbredning svarer til faldende båndbredde. Det er derfor vigtigt at kunne udføre denne måling på en udlagt fiberstrækning, da det ikke i praksis er muligt at forudsige båndbredden af en total strækning ud fra kendskab til båndbredden af de enkelte fibre, som strækningen er splidset sammen af.

Der kendes to principielt forskellige måder til måling af impulsforbredning (se f.eks. NBS special publication 597 : Technical Digest Symposium on optical fiber measurements 1980, p. 49-54). Den ene metode betegnes "frekvenssweep"-metoden, hvor der på indgangen af fiberen tilføres et signal med periodisk varierende frekvens. På udgangen af fiberen frekvensanalyseres det transmitterede signal, og der kan ved beregning opnås oplysning om impulsforbredningen. Selv om der ved denne metode i praksis ikke kan måles faseforskel, har det hidtil været den dominerende metode for måling over store afstande. Dette

skyldes, at den anden metode, som betegnes "impuls"-metoden hidtil har haft den ulempe, at den ikke er pålidelig, når dæmpningen i den optiske fiberstrækning er stor, hvorfor denne metode mest har fundet anvendelse til laboratoriemålinger, hvor fiberlængden og dermed dæmpningen er relativt lille. Dæmpningen er ved denne metode et problem, fordi detektorens egenstøj er relativ stor, således at signal/støj-forholdet bliver ringe. Detektorens egenstøj kan ikke uden videre reduceres, da detektoren skal have en så stor båndbredde, at dens impulssvar er lille sammenlignet med de impulser, som under målingen transmitteres gennem den optiske fiber. Ved de kendte impuls-metodeapparater har man derfor søgt at afhjælpe det dårlige signal/støj-forhold ved at benytte højeffektlasere som sendekilde, men da højeffekt lasere kun kan arbejde med en væsentlig lavere repetitionsfrekvens og ved andre bølgelængder, end det er tilfældet for de laveffektlasere, som i praksis benyttes til kommunikationsformål, vil denne kendte målemetode ikke fuldstændigt afspejle de fiberegenskaber, der er relevante under normale kommunikationsanvendelser.

Formålet med opfindelsen er at angive en fremgangsmåde ved signalbehandling af en række af impulser, hvilken fremgangsmåde medfører, at båndbredden af en optisk fiber kan måles i overensstemmelse med den nævnte pulsmetode selv i tilfælde, hvor den optiske fiber har en så stor dæmpning, at den hidtil kendte pulsmåleteknik har vist sig at være utilstrækkelig, når der i pulsmålesenderen ønskes benyttet en laser af samme type, som i praksis anvendes til telekommunikation.

Dette formål opnås ved, at den forstemte frekvens f_s , ved hvilken det modtagne signal eksempleres, er givet ved

$$f_s = \frac{f_r + \Delta f}{n},$$

hvor n er et helt tal og Δf er flere størrelsesordener
 mindre end f_r , og at eksempleringssignalet frembringes
 ved hjælp af en impulsgenerator, hvis repetitionsfrekvens
 5 er styret ved hjælp af et fasedetekterende kredsløb,
 som tilføres dels et referencesignal, der repræsenterer
 forskydningsfrekvensen Δf , og dels et lavfrekvenssignal,
 som afledes af det modtagne og ved frekvensen f_s eksem-
 plerede signal, og som er tilstrækkeligt bredbåndet
 10 til at indeholde i det væsentlige al informationen i
 det modtagne signal. Ved at låse eksempleringsfrekvensen
 ved hjælp af et signal, som på grund af eksempleringen
 er konverteret til et lavfrekvenssignal med stort signal/-
 støj-forhold, opnås, at låsningen er effektiv, selv
 15 om signal/støj-forholdet, henført til modtagerens indgang,
 er væsentligt mindre, end det hidtil har været tillade-
 ligt. Derved undgås den begrænsning, som findes i de
 hidtil kendte pulsmålesystemer, nemlig at signal/støj-
 forholdet skal være relativt stort, inden eksempleringen
 20 for at sikre pålidelig trigning af det samplingoscillo-
 skop, der i disse systemer anvendes til eksempleringen.

Fra heterodynteknikken er det kendt at blande et modtage-
 signal med et lokaloscillatorsignal, hvor lokaloscilla-
 torens frekvens er afhængig af blandingsproduktet, se
 25 f.eks. tysk offentliggørelsesskrift nr. 2 644 159. Denne
 teknik forudsætter et sinusformet lokaloscillatorsignal
 og båndpasfiltrering i et relativt smalt mellemfrekvens-
 område, hvorved en overvejende del af informationen
 i et impulssignal ville gå tabt. Eksempelvis kan en
 30 optisk fiber have en båndbredde på 300 MHz svarende
 til en impulsforbredning på 1 ns. Under forudsætning

af de i den senere beskrivelse givne eksempler på måle-
frekvenser er informationen indeholdt i op til 40 har-
moniske af både repetitions- og forskydningsfrekvensen,
og det vil derfor kunne forstås, at heterodynteknikken,
5 som på grund af båndpasfiltrering i mellemfrekvensområdet
kun ville medtage 1. harmoniske, er utilstrækkelig.
Ved at anvende et impulsformet eksempleringssignal sammen
med et bredbåndet eksempleringsskredsløb opnås, at den
harmoniske række af repetitionsfrekvensen, der udgør
10 indgangssignalet (se fig. 1 A), transformeres til en
dermed ækvivalent harmonisk række af forskydningsfre-
kvensen, og at der ved lavpasfiltrering af dette signal
opnås en væsentlig reduktion af støjen, når der anvendes
målefrekvenser af de størrelsesordener, der er angivet
15 som eksempel i den følgende beskrivelse.

Referencesignalet til det fasedetekterende kredsløb
kan frembringes ved hjælp af en særskilt lokaloscillator,
og i forbindelse hermed kunne den styrende impulsgenerator
være et frekvenssyntetiserende netværk, men fortrinsvis
20 frembringes referencesignalet som anført i krav 2 i
forbindelse med en impulsgenerator med relativt lille
afstemningsområde, idet fremgangsmåden til de fleste
anvendelser vil blive udøvet ved en bestemt repetitions-
frekvens, fortrinsvis 8 MHz.

25 Ved at vælge forskydningsfrekvensen Af på mellem 10
og 100 Hz opnås et fordelagtigt kompromis mellem, at
det til lavfrekvens konverterede udgangssignal kan frem-
vises direkte på et sædvanligt lavfrekvens realtids-
oscilloskop, og at der opnås en tilstrækkelig forbedring

af modtagerens følsomhed til, at der kan måles over de i praksis forekommende fiberlængder, samt at kredsløbene kan realiseres uden store stabilitetsproblemer.

Opfindelsen angår endvidere en modtager til udøvelse af fremgangsmåden ifølge krav 1 og omfattende en optisk modtager samt et filter til eksemplering og signalbehandling af en modtaget række af impulser med en stabil, høj repetitionsfrekvens f_r , hvilket filter omfatter et eksempleringskredsløb og omfatter et fasedetekterende styrekredsløb, som er indrettet til ved fasesammenligning af et referencesignal, der repræsenterer en forskydningsfrekvens, Δf , og et på en yderligere indgang modtaget signal, at regulere en eksempleringsfrekvens f_s .

Formålet med modtageren er at kunne udøve fremgangsmåden væsentligt simplere og billigere end kendte pulsmåleanlæg. Dette opnås ved, at der findes en impulsgenerator, som er styret af nævnte styrekredsløb, således at

$$f_s = \frac{f_r - \Delta f}{n},$$

hvor n er et helt tal, og at styrekredsløbets yderligere indgang er forbundet til eksempleringskredsløbets udgang via et lavpasfilter.

Det fasedetekterende styrekredsløb har fortrinsvis to indgange, hvor det er væsentligt at bemærke, at den ene indgang modtager den eksemplerede version af det signal, som modtageren modtager, medens en yderligere indgang på det fasedetekterende styrekredsløb kan være forbundet som anført i krav 5. Jo mindre n er, jo større bliver signal/støj-forholdet, og i den senere

beskrivelse forudsættes, at $n = 1$, hvorved der opnås maksimal forøgelse af modtagerens signal/støjforhold. En tilsvarende forøgelse kan ikke opnås i de kendte systemer, hvor der anvendes samplingsoscilloskop, da
5 dettes maksimale eksempleringssekvens typisk er 100 kHz, hvilket med den foretrukne repetitionsfrekvens på 8 MHz giver $n = 80$.

De i krav 7 anførte impulsformekredsløb medfører, at konstruktionen ifølge krav 4 kan optimeres på bedre
10 måde, end det kan opnås for et enkelt impulsformekredsløbs vedkommende. Ved hjælp af de i krav 8 anførte foranstaltninger udnyttes det optimalt store signal/støjforhold på dette sted til yderligere forbedring af eksempleringsenhedens eksempleringsnøjagtighed selv
15 med et meget lavt signal/støj-forhold på modtagerens indgang.

Opfindelsen vil blive nærmere forklaret ved den følgende beskrivelse af nogle foretrukne udførelsesformer, idet der henvises til tegningen, hvor

20 fig. 1A-C viser en del af frekvensspektret for signaler, som forekommer i det på fig. 2 viste kredsløb, hvor frekvensen er angivet i enheder af henholdsvis f_r , f_s og Δf ,

25 fig. 2 viser et forenklet blokdiagram over et kredsløb til forklaring af fremgangsmåden ifølge opfindelsen, medens

fig. 3A og B viser henholdsvis en sender og modtager som det foretrukne anlæg til udførelse af fremgangsmåden.

30 Fig. 1A og B viser dele af frekvensspektret for impulsrækker, hvor repetitionsfrekvenserne eksempelvis er

henholdsvis $f_r = 8\text{MHz}$ og $f_s = 7,99992\text{ MHz}$. Når den første impulsrække eksempleres ved den anden impulsrækkes repetitionsfrekvens, fremkommer et spektrum, hvis lavfrekvensdel er vist på fig. 1C, hvor der forekommer en grundfrekvens Δf , svarende til differencen mellem de nævnte impulsrækkes repetitionsfrekvens. Da forskydningsfrekvensen Δf , som ved den foretrukne udførelsesform er 80 Hz, er adskillige størrelsesordener mindre end f_r og f_s , er fig. 1C skaleret forskelligt fra fig. 1A og 1B. Det bemærkes, at de nævnte frekvenser kun tjener som et eksempel og således ikke er begrænsende for opfindelsens anvendelsesområde.

Det på fig. 2 viste blokdiagram af en signalbehandlingsenhed ifølge opfindelsen omfatter en eksempleringsenhed 1, som er indrettet til at eksemplere et indgangssignal med en repetitionsfrekvens f_r , som kan have det på fig. 1A viste spektrum, ved en eksempleringsfrekvens f_s , hvor eksempleringssignalet frembringes af en impuls-generator 2 og kan have det på fig. 1B viste spektrum. Impulsgeneratoren 2 styres af en regulerbar oscillator 3, som reguleres ved hjælp af udgangssignalet fra et fasedetekterende kredsløb 4, således, at $f_s = \frac{f_r \pm \Delta f}{n}$,

hvor n er et helt tal, og Δf er flere størrelsesordener mindre end f_r . Som nævnt vil udgangssignalet fra eksempleringsenheden 1 indeholde en grundfrekvens $f_r - n f_s$, som eksempelvis er 80 Hz. Dette signal overføres via et amplitudebegrænsende filter 5 til den ene indgang af det fasedetekterende kredsløb 4, hvis anden indgang er forbundet til en lokaloscillator 6, som er indstillet til frekvensen Δf .

Fordelen ved det på fig. 2 viste kredsløb er, at eksempleringsfrekvensen f_s kan styres meget nøjagtigt i forhold til impulsrepetitionsfrekvensen f_r , selv om signal/støj-

forholdet på indgangen af eksempleringsenheden 1 er ringe. Dette skyldes, at eksempleringen og en efterfølgende lavpasfiltrering af det eksemplerede signal medfører en væsentlig forøgelse af signal/støj-forholdet, således at der kan opnås en præcis eksempleringsfrekvens f_s ved frekvenser helt op til 100 MHz. Den nævnte lavpasfiltrering kan ved det på fig. 2 viste kredsløb være indeholdt i det begrænsende filter 5, som også medfører en amplitudebegrænsning, der er nødvendig for de mest almindelige fasedetekterende kredsløb. Der kan imidlertid også tænkes fasedetekterende kredsløb, som ikke forudsætter en separat lavpasfiltrering af det eksemplerede signal.

Ved hjælp af det på fig. 2 viste kredsløb kan i princippet alle repetitionsfrekvenser f_r komme på tale, men dette forudsætter, at den regulerbare oscillator 3 er et relativt kostbart frekvenssyntetiserende netværk med et bredt frekvensområde, og at frekvensen for oscillatoren 6 kan varieres for at opnå optimal drift ved alle repetitionsfrekvenser. En anden generel forudsætning for kredsløbets funktion er, at repetitionsfrekvensen f_r er meget præcis, idet den skal være fasestabil af hensyn til eksempleringen og være frekvensstabil med en variation, som er noget mindre end frekvensen for oscillatoren 6, for at det fasedetekterende kredsløb 4 kan låse eksempleringsfrekvensen f_s fast.

Opfindelsen er specielt hensigtsmæssig i forbindelse med måling af dispersion i optiske fibre, hvor der til langt de fleste målinger kan benyttes en fast repetitionsfrekvens, som relativt let kan frembringes således, at den opfylder de ovennævnte krav. Derved kan det på fig. 2 viste kredsløb også gøres mindre generelt og derfor billigere, f.eks. således som det er vist i modtageren på fig. 3B.

Fig. 3A og B viser henholdsvis en sender og en modtager for et anlæg til måling af dispersion gennem en optisk fiber 7. Senderen er indrettet til at sende korte lysimpulser (ca. 0,7 ns) ind i fiberen 7, og modtageren er indrettet til at detektere fiberens impulssvar. For at få størst mulig målenøjagtighed skal både den udsendte impuls og modtagerens impulssvar være korte sammenlignet med fiberens impulssvar, hvilket kræver en stor båndbredde i modtageren, som derved får en ringe følsomhed. Ved hjælp af den på fig. 3B viste udførelsesform for modtageren ifølge opfindelsen kan der i forhold til kendte modtagere opnås en forbedring i signal/støj-forholdet på ca. 25 dB.

Den på fig. 3A viste sender omfatter en stabil oscillator 17, hvis frekvens f_r , som ved den viste udførelsesform er 8 MHz, har en total frekvensusikkerhed, som er væsentligt mindre end Δf , som ved den viste udførelsesform er ca. 80 Hz. Oscillatoren 17 styrer en impuls-generator 18, som frembringer 0,7 ns brede strømimpulser med en amplitude på 20-50 mA afhængig af den anvendte type laser 19. Ved hjælp af et forspændingskredsløb 20 forspændes laseren 19 således, at spidsniveauet af de optiske impulser er konstant. Lysimpulserne overføres til den optiske fiber 7, for hvilken dispersionen skal måles, via en modescrambler 21 og et koblingsorgan 22. Modescrambleren er, ligesom de tidligere nævnte komponenter i senderen, i og for sig kendt og er tilstrækkelig til at sikre reproducerbare målinger på lange fiberlængder. Ved målinger på korte længder og ved målinger, hvor der kræves ekstrem reproducerbarhed, kan yderligere indkoblingsarrangementer være nødvendige.

I modtageren 3B er den optiske fiber 7 via et koblingsorgan 23 koblet til en avalanche fotodetektor 24, som er forbundet dels til et forspændingskredsløb 25 og

et indgangskredsløb 26. Indgangskredsløbet 26 er opbygget som et kendt indgangs-trin og indeholder endvidere automatisk forstærkningsregulering, således at modtageren ikke overstyres. Idet der foreløbigt ses bort fra impulsformekredsløb 27 og 28, vil de øvrige komponenter i modtageren 11-16 i princippet kunne jævnføres med komponenterne 1-6 fra fig. 2. Modtageren omfatter således en eksempleringsenhed 11, en impulsgenerator 12, en styret oscillator 13, et fasedetekterende kredsløb 14, et filter 15 og et kredsløb 16 til frembringelse af frekvensen Δf . Da den på fig. 3B viste modtager er indrettet til at modtage ved en fast repetitionsfrekvens f_r , er der ikke behov for den på fig. 2 viste lokal-oscillator 6. Frekvensen Δf frembringes ved frekvensdeling af oscillatoren 13's udgangssignal, idet kredsløbet 16 er indrettet til at dele frekvensen i forholdet $f_s / \Delta f$. På grund af den konstante repetitionsfrekvens f_r kan oscillatoren 13 være en sædvanlig, styret oscillator med et relativt lille afstemningsområde, hvor frekvensen f_s er styret af udgangssignalet fra det fasedetekterende kredsløb 14, således som det blev forklaret i forbindelse med fig. 2.

Ved hjælp af den på fig. 3B viste modtager undgås de trigge-problemer, som kendes fra samplingsoscilloskoper, og som hidrører fra det dårlige signal/støj-forhold i indgangskredsløbet 26. Som følge af at eksempleringsfrekvensen er låst ved hjælp af udgangssignalet, hvor signal/støj-forholdet er stort, kan modtageren fungere med et så ringe signal/støj-forhold i indgangskredsløbet 26, at der i senderen (fig. 3A) kan benyttes en laveffekt-laser 19 af samme type, som normalt benyttes i telekommunikationssystemer. Ved hjælp af modtageren ifølge opfindelsen kan der derfor måles netop de parametre, som er relevante under sædvanlig telekommunikationsanvendelse af den optiske fiber 7. Eksempleringsfrekvensen i den

på fig. 3B viste modtager kan endvidere uden større vanskeligheder være så høj som 100 MHz, således at der kan tages en eksemplering i hver impulsrepetitionsperiode. Impulsrepetitionsfrekvensen er ved den foretrukne udførelsesform valgt til 8 MHz, hvilket er et hensigtsmæssigt kompromis mellem, at en høj frekvens medfører, at der overføres mest mulig energi, og at frekvensen ikke er højere, end at impulssvarene fra den mest dispersive fiber, som skal måles, ikke overlapper indbyrdes. En repetitionsfrekvens på 8 MHz medfører en afstand mellem sendeimpulserne svarende til 4 gange taktimpulsperioden for et 34 Mb/s signal.

Indgangskredsløbet 26 er normalt konstrueret til at give det bedst mulige signal/støj-forhold, hvilket medfører en forvrængning af impulserne, således at en modforvrængning er nødvendig. Ifølge opfindelsen opnås modforvrængningen ved hjælp af to impulsformekredsløb 27 og 28, som er anbragt på hver sin side af eksempleringsenheden 11, hvilke har vist sig at forbedre mulighederne for optimering af kompensationen til modvirkning af forvrængning fra indgangskredsløbet 26. Ved at benytte udgangssignalet fra impulsformekredsløbet 28 som indgangssignal til det fasedetekterende kredsløb 14, eventuelt yderligere filtreret i begrænseren 15, opnås derfor en yderligere forbedring af kredsløbets evne til at fastlåse eksempleringsfrekvensen i forhold til den høje repetitionsfrekvens.

Da udgangssignalet fra kredsløbet 28 repræsenterer de modtagne impulser med en repetitionsfrekvens på Δf , som her er ca. 80 Hz, kan udgangssignalet direkte fremvises på et lavfrekvens realtidsoscilloskop. Udgangssignalet kan imidlertid også signalbehandles yderligere på i og for sig kendt måde, f.eks. ved hjælp af et fourier-transformationskredsløb. Generelt kan udgangs-

signalet overføres til en datamat for yderligere signalbehandling, lagring, udskrift m.v.

P a t e n t k r a v:

1. Fremgangsmåde ved forstemt eksemplering af en række
 5 impulser med stabil, høj repetitionsfrekvens, f_r , som
 er modtaget af et støjgenererende detektorkredsløb,
 især til måling af impulsforbredning gennem en optisk
 fiber, hvis udgangsende er koblet til detektorens indgang,
 k e n d e t e g n e t ved, at den forstemte frekvens
 10 f_s , ved hvilken det modtagne signal eksempleres, er
 givet ved

$$f_s = \frac{f_r \pm \Delta f}{n},$$

- hvor n er et helt tal og Δf er flere størrelsesordener
 mindre end f_r , og at eksempleringssignalet frembringes
 ved hjælp af en impulsgenerator, hvis repetitionsfrekvens
 15 er styret ved hjælp af et fasedetekterende kredsløb,
 som tilføres dels et referencesignal, der repræsenterer
 forskydningsfrekvensen Δf , og dels et lavfrekvenssignal,
 som afledes af det modtagne og ved frekvensen f_s eksem-
 plerede signal, og som er tilstrækkeligt bredbåndet
 20 til at indeholde i det væsentlige al informationen i
 det modtagne signal.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t
 ved, at det fasedetekterende kredsløbs referencesignal
 frembringes ved neddeling af impulsgeneratorens udgangs-
 25 frekvens.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t
 e g n e t ved, at $f_s = f_r - \Delta f$, hvor Δf er mellem
 10 og 100 Hz, fortrinsvis svarende til fem størrelses-
 ordener mindre end f_s .

4. Modtager til udøvelse af fremgangsmåden ifølge krav 1 og omfattende en optisk modtager samt et filter til eksemplering og signalbehandling af en modtaget række af impulser med en stabil, høj repetitionsfrekvens, f_r , hvilket filter omfatter et eksempleringskredsløb og omfatter et fasedetekterende styrekredsløb (4, 14), som er indrettet til ved fasesammenligning af et referencesignal, der repræsenterer en forskydningsfrekvens, Δf , og et på en yderligere indgang modtaget signal, at regulere en eksempleringsfrekvens f_s , *k e n d e t e g n e t* ved, at der findes en impulsgenerator (2, 13), som er styret af nævnte styrekredsløb (4, 14) således, at

$$f_s = \frac{f_r \pm \Delta f}{n},$$

- 15 hvor n er et helt tal, og at styrekredsløbets yderligere indgang er forbundet til eksempleringskredsløbets udgang via et lavpasfilter (5, 15).

5. Modtager ifølge krav 4, *k e n d e t e g n e t* ved, at der findes et frekvensdelekredsløb (16) med et deleforhold

$$\frac{f_s}{\Delta f},$$

- 20 hvilket kredsløb er forbundet mellem den styrede impulsgenerators (13) udgang og det fasedetekterende styrekredsløbs referenceindgang.

6. Modtager ifølge krav 4, *k e n d e t e g n e t* ved, at n er mindre end 10.

- 25 7. Modtager ifølge krav 4, og hvor der findes impulsekredsløb til modvirkning af forvrængning i den

optiske modtager, k e n d e t e g n e t ved, at der foran og efter eksempleringseenheden findes henholdsvis et højfrekvensimpulsformekredsløb og et lavfrekvensimpulsformekredsløb.

- 5 8. Modtager ifølge krav 7, k e n d e t e g n e t ved, at lavfrekvensimpulsformekredsløbet er indskudt i forbindelsen mellem eksempleringseenhedens udgang og det fasedetekterende styrekredsløbs yderligere indgang.

Fremdragne publikationer:

DE offentliggørelsesskrift nr. 2644159
US patent nr. 3197700.



