

TEKNISK DJUPDYKNING: OPTISK MAGI MED RAMANFÖRSTÄRKARE

När ljus ska gå många, många mil genom en optisk fiber kommer det att försvagas. Därför förstärker man det på vägen. Eftersom Sverige är så långt, blir det många förstärkare längs hela SUNET. Det viktigaste är att inte samla på sig brus under vägen. Brus är en störning som dränker det värdefulla datat i skräp. Till skillnad från den enklare typ av förstärkare som redovisas i artikeln ”*Teknisk djupdykning: Optisk magi med EDFA*” som bara är 10 meter lång, kan en distribuerad ramanförstärkare (DRA) vara mer än 100 kilometer lång. Föreliggande text förklarar varför en kombination av DRA och EDFA är idealisk för att få gott signal/brusförhållande över längre överföringssträckor.

Chandrasekhara Raman (1888-1970) är ansvarig för att ha upptäckt en hel massa lustiga optiska fenomen. Raman var en berömd indisk fysiker som levde under den brittiska kolonialtiden och höstade in de flesta vetenskapliga utmärkelser man kan få. Det viktigaste för oss svenskar var att han fick nobelpriset i fysik 1930 för det vi idag kallar ramanspridning (raman scattering) eller helt enkelt ”ramaneffekten”.

Raman gjorde vad som kan tyckas vara en förhållandevis enkel upptäckt, nämligen att en del av det ljus som färdas genom ett transparent material, kommer ut ur materialet med en annan våglängd, och han kunde förklara varför. Han fortsatte starkt med att upptäcka fotonens kvantspinn år 1932 och kunde därför konstatera att fotonen är en kvantmekanisk partikel.



Sir Chandrasekhara Venkata Raman, upptäckare av ramanspridningen.
Bild: Nobelstiftelsen, PD

SKILLNADEN MOT ERBIUMDOPADE FÖRSTÄRKARE

I en erbiumdopad förstärkare (hädanefter EDFA) använder man sig av en dopad (förorenad) fibers förmåga att agera laser, medan ramanförstärkning går till så att själva transmissionsfibers olinjära egenskaper kombineras med en kraftig laserstråle och därmed åstadkommer förstärkning. Olinjär? All optisk fiber är optiskt olinjär, dvs den har sönder ljuset på något sätt. Det ljus som kommer ut är inte riktigt detsamma som man skickar in. I vanlig single mode-fiber som man bygger fiberoptiska nät av, är olinjäriteterna dock så små att man kan bortse ifrån dem. Men man kan ”psyka” fibern så mycket att olinjäriteten blir av betydelse. Det fina med detta är att man kan skapa en ljusförstärkare av helt vanlig transmissionsfiber utan modifikationer av något slag.

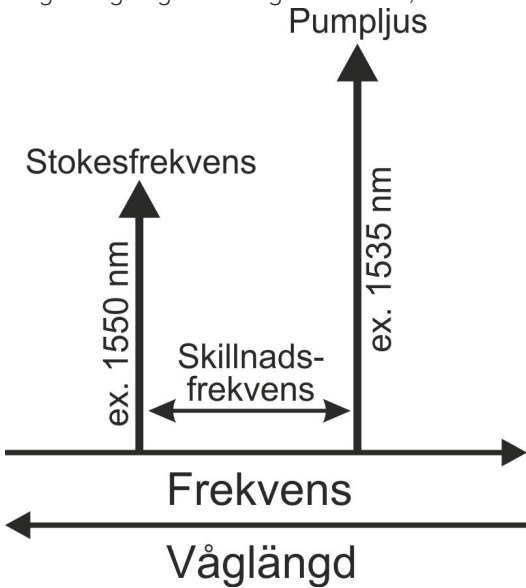
Ramaneffekten är inte begränsad till optisk fiber utan det fungerar med fönsterglas och dricksglas också. Faktiskt fungerar det med alla material som kan reflektera ljus, men det är en annan historia.

Det optiska nätet självt får alltså agera förstärkare på avstånd som är i stil med halvvägs mellan Stockholm och Västerås. Därav beteckningen ”distribuerad förstärkning”. Ramanförstärkningen är mycket bredbandigare än det erbiumfönster som EDFA kan erbjuda (30-40 nm) och kan sålunda förstärka många flera våglängder, allt mellan 300 och 2000 nanometer, som är det område som den optiska fibern själv släpper igenom. Genom att välja en pumplaser av lämplig våglängd kan man välja exakt vilka våglängder man vill förstärka (eller inte förstärka). Bandbredden för en typisk ramanförstärkare är uppåt 100 nanometer.

PRINCIPEN I ALL ENKELHET: RAMANSPRIDNING

Det rör sig om nobelprisfakta, så man får ta det enkelt. Fibern består av molekyler av kiseldioxid (glas). När man skickar in pumppljus i fibern (man säger att man pumpar eller exciterar fibern), studsar ljuset ibland på molekylerna. För det mesta blir studsens 100 % elastisk, alltså fotonen studsar tillbaka med samma energi (och därmed våglängd) som den hade. Inget särskilt händer.

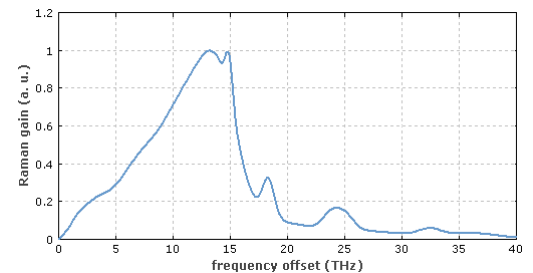
Men ibland kan glasmolekylen ta upp lite energi från fotonen. Fotonen studsar då iväg med något mindre energi och därmed längre våglängd eller lägre frekvens, som man kallar stokesfrekvensen. Studsen är i detta fall vad man kallar inelastisk. Därav den engelska termen "inelastic scattering".



Skillnaden mellan pumpfrekvensen och stokesfrekvensen är materialberoende och för kiseldioxid är skillnaden i våglängd cirka 15 nm. Diagrammet visar förhållandet i frekvens, och i våglängd som är inversen av frekvensen. Exemplet ges dock i nanometers våglängd eftersom detta är relevantare för fiberoptik.

Varför tar molekylen upp energi? Därför att den kan vibrera med ungefär samma frekvens som fotonen. Molekylen tar upp vibrationsenergi.

Men skillnadsfrekvensen är inte absolut, utan sprids inom ett intervall (ramanspridning). För glas rör det sig om en utbredd topp på mellan 10-15 terahertz. Det är inom detta band som förstärkning kan ske. Diagrammet visar möjlig



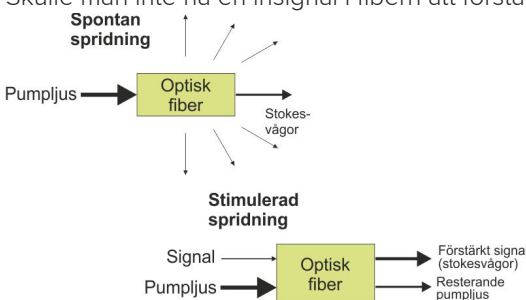
förstärkning (Raman gain) mot skillnadsfrekvens i glas (frequency offset). Pumppljusets frekvens ligger vid noll på frekvensskalan och förstärkningsförmågan har i princip försvunnit vid 40 THz.

Bandet där förstärkning är möjlig, är inte bestämt av materialet (såsom i erbiumfallet) utan av pumppljusets frekvens. Flyttar man pumppljusets frekvens, flyttas förstärkningskurvan med. Därför kan man välja ut exakt de frekvenser (våglängder) man vill förstärka genom att välja lämplig frekvens (våglängd) på pumppluset. Mycket behändigt.

Detta är dock av föga värde för oss om man inte får med en insignal som ska förstärkas också.

PRINCIPEN I ALL ENKELHET: BREDBANDIG FÖRSTÄRKNING

Skulle man inte ha en insignal i fibern att förstärka, skulle fibern ändå stråla ut stokesvåglängder helt spontant. Det är naturligtvis till ingen nytta.



Har man däremot en insignal tillsammans med pumpvåglängden och insignalen faller inom förstärkningsbandet (i diagrammet ovan) kommer denna att förstärkas genom det man kallar stimulerad spridning (stimulated scattering). Vid spontan spridning kommer stokesvåglängderna ut lite hur som helst, men vid stimulerad spridning kommer stokesvågorna ut i samma riktning som insignalen och koherent med denna, bara mycket starkare.

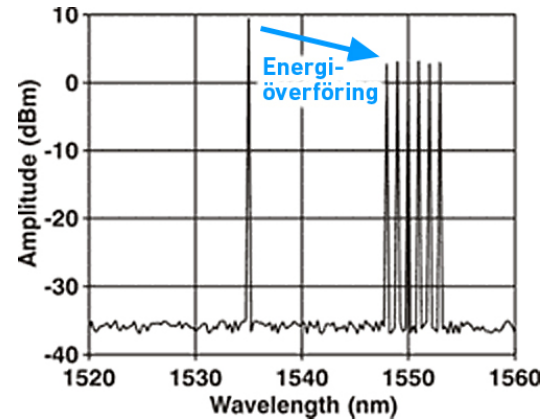
Stimulerad spridning går till så att när pumppluset har exciterat en molekyl och den väntar på att falla ned till sin ursprungliga energinivå och skicka ut stokesstrålning, kan en foton från signalkällan komma och knuffa till den, stimulera den, att falla på ett särskilt sätt. Förutsatt att signalfotonen har lämplig våglängd kommer den att stimulera den exciterade molekylen att skicka ut en exakt likadan foton i form av stokesstrålning. Resultatet är två likadana fotoner. Dessa går vidare och stimulerar var sin ytterligare exciterad molekyl, och så vidare. Resultatet är en lavin av fotoner som stimulerats fram av en ursprungligen svag signal.

De framskapade fotonerna blir exakt likadana som signalen till fas, våglängd, och andra tillstånd. Signalernas modulationstyp och polarisation spelar ingen roll. Här gäller i övrigt samma förhållanden som för EDFA.

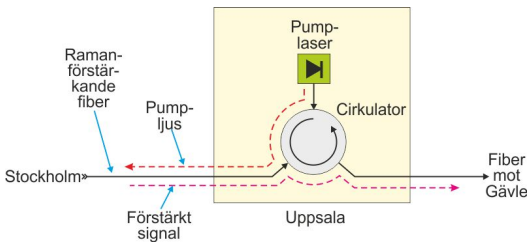
SPEKTRUM

Man använder typiskt en pumpplaser på 500 milliwatt med våglängden 1535 nm för att få förstärkning i C-bandet kring 1550 nm.

Spektrumet ovan visar en typisk överföring med flera våglängder, kallad Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Man sänder flera signaler med data, lagda så nära varandra att de alla kan förstärkas med ramanteknik med samma pump-laser. Den höga toppen vid 1535 nm är pump-ljuset och allt eftersom detta fördras längs fibern kommer dess energi att överföras till signalvåglängderna kring 1550 nm i en lavineffekt.



LJUSKARUSELLEN



Pump-ljuset måste in i fibern på något sätt och den förstärkta signalen måste ut. Utan att de stör varandra. Det kan man ordna med en cirkulator, en optisk komponent som fungerar som en karusell för ljus.

Cirkulatorn tar ljus som kommer in i den och skickar ut på nästa utgång. Så lunda kommer pump-ljuset i kopplingen ovan att skickas ut på fibern för den ankommande signalen från Stockholm, medan den ankommande, förstärkta signalen kommer att skickas ut på den tredje utgången, redo för färden vidare mot Gävle.

EN VERKLIG LÄNK

En praktisk fiberoptisk länk utförs som en kombination av raman- och EDFA-förstärkare.

En praktisk länk. Den blå nivån är ramanförstärkarens bidrag. Som du ser ökar förstärkningen i fibern ju närmare pump-lasern signalen kommer. Eftersom pump-ljuset i ramanförstärkaren skickas bakåt i fibern, blir förstärkningen högre ju närmare pumpkällan man kommer. Nyttosignalen kommer aldrig att komma ned i bruset.

Bruset är alltings fiende. Efter ett tag har signalnivån på fibern sjunkit ned i bruset och kan inte återhämtas. Därför sätter man in förstärkare med jämna mellanrum. Skulle man använda enbart EDFA kommer signalen efter lång sträcka att börja närma sig brusets nivå och när EDFA sedan förstärker den, kommer den att förstärka bruset också. Bruset kommer alltså att öka längs ledningen, eller om man så vill, det optiska signal/brusförhållandet kommer att sjunka längs ledningen. Till sist blir läget ohållbart.

Använder man ramanförstärkare kommer signalen längs hela fibern alltid att ligga på en högre medelnivå, i och med att själva fibern är förstärkaren, och aldrig falla ned i bruset. En efterföljande EDFA kommer aldrig att behöva förstärka brus. En kombination av EDFA och raman är optimal för att sänka brusnivåerna, eller om man så vill, bibehålla ett högt optiskt signal/brusförhållande i överföringen.

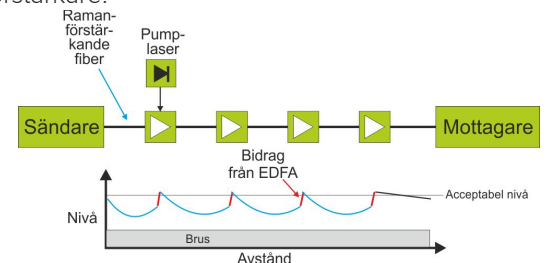
Där satt hela hemligheten!

Så här kan en typisk ramanförstärkare se ut. Just denna kommer från Finisar Corp i Sunnyvale i Kalifornien, men det finns många tillverkare.

Eller, det här är inte förstärkaren, eftersom förstärkningen sker i transmissionsfibern, utan detta är pump-lasern och cirkulatorn som för in pump-ljuset i fibern och för ut den förstärkta signalen.

För att ramanförstärkningen ska bli effektiv krävs ganska hög pumpeffekt, eftersom verkningsgraden är väldigt låg. Den ligger kring 10^{-13} vid 1000 nm våglängd. Omkring en halv watt till en hel watt ljuseffekt är vanligt. Det är väldigt mycket. Det kan man definitivt bränna sig på fingrarna med, eller bli blind av. De optiska komponenterna kan också bli varma. Man får se upp med smuts på kontaktdonen, eftersom de kan brinna upp av den ljuseffekt som dumpas i kontaktdonet.

Don't stare into beam with remaining eye!





LÄS MER

Våglängder kontra frekvenser i fiber i DWDM-system: <http://www.fiberdyne.com/products/itu-grid.html>

En bra indie: <https://www.youtube.com/watch?v=iYscyYD0R9w>

Skriven av



JÖRGEN STÄDJE

Jag heter Jörgen Städje och har skrivit om teknik och vetenskap sedan 1984. Friskt kopplat, hälften brunnet!