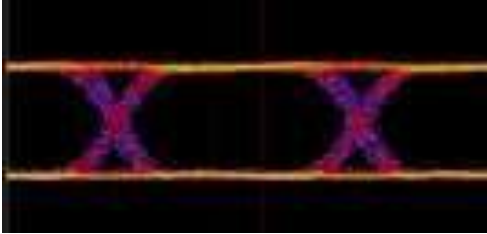


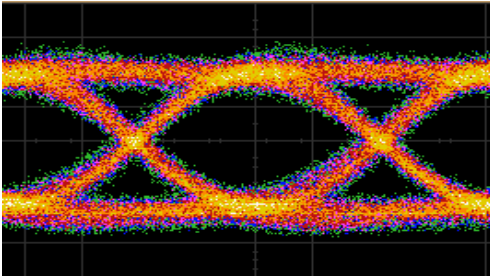
Vad är dispersion och varför är det farligt?

Dispersion är den faktor som begränsar hur hög bithastighet en fiber kan överföra. Ett sätt att visa detta på ett mätinstrument är ett "ögonogram"



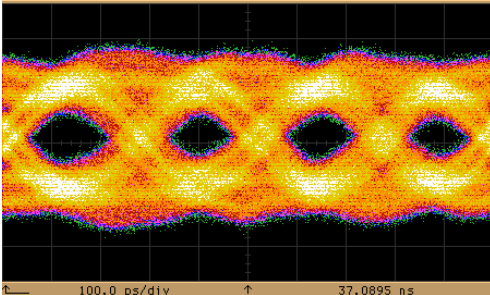
Här ser vi en hel massa ettor och nollor överlagrade på varandra. Mitt på bilden ligger den punkt där mottagaren "klockar", dvs försöker tolka, om den avsända signalen är ett eller noll. Ungefär så här brukar signalen se ut nära mottagaren och här är det ingen tvekan!

Efter ett antal mil transmission förändras bilden:



Nu kan vi se att pulserna har blivit rundare och signalen har fått mer brus, men "ögat" är fortfarande vidöppet, det är ingen tvekan om etta eller nolla.

Efter ytterligare några mil kan det se ut så här:



avsevärt!

Nu börjar "ögat" stänga sig och det blir allt mer osäkert om signalen skall tolkas som etta eller nolla och det uppstår allt fler "bitfel", alltså felaktigt tolkade data.

Om ett avsänt datapaket innehåller ETT bitfel, kommer mottagaren be avsändaren att skicka om paketet gång på gång tills dess att mottagaren har fått rätt checksumma. Detta innebär att länkens totala kapacitet reduceras

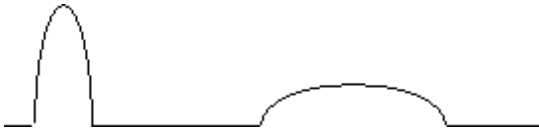
Varför stängs då ögonogrammet?

En hel del kan förklaras av det adderade bruset på signalen, som kommer till på grund av effekter i förstärkare mm, men detta gäller ju bara upp/ner i diagrammet, inte höger/vänster, alltså tidsdomän! Spridningen i sidled i detta diagram består av två komponenter, dels jitter från sändaren och dels dispersion. Jittret från sändaren kan vi ju se redan i den översta bilden, så det är ju tydligt att dispersionen fördärvat signalen, mer och mer ju längre fiber vi använder.

På rätt klarspråk betyder detta att vår fiber har en inbyggd hastighetsbegränsning som inte kan överskridas! Tänk Er själva hur ovanstående ögonogram skulle se ut om vi fyrubblade bithastigheten, första bilden skulle det gå bra, andra kanske, men absolut inte tredje!

Så vad är dispersion egentligen?

Ett svenskt ord är pulsbreddning.



Korta, höga och distinkta pulser i början av fibern blir bredare, lägre och suddigare mot slutet av fibern. Resultatet av alltför stor pulsbreddning blir att mottagaren får svårt att skilja mellan ettor och nollor och det uppstår bitfel.

Detta leder till några slutsatser:

A: En given länk har en given dispersion. Alltså har denna länk en maximal bithastighet som inte kan överskridas

B: För att klara en uppgradering till högre bithastigheter krävs att dispersionen underskrider ett visst värde

C: För att klara att uppgradera en given länk till en hastighet överskridande dess inbyggda dispersion krävs att man kontrollerar och justerar dispersionen till ett givet värde.

För att kontrollera och justera dispersionen behöver vi gå in lite djupare i begreppet, så nu lite teori:

CD och PMD

Länkens totala dispersion består av två till grunden olika fenomen, och för att få en helhet måste vi kunna särskilja dessa två, den kromatiska dispersionen och polarisationsmodsdispersionen.

Att förklara den kromatiska dispersionen, CD, går med ljusets hastighet!

Ljusets hastighet i världsrymden är konstant, c :a 300 000 km/s. Kommer det något i vägen för ljuset går det saktare. I luft, kanske nån procent men i fiberglas ungefär 1,5 ggr saktare. Exakt hur mycket saktare beror på ljusets våglängd och glasets brytningsindex.

Begreppet brytningsindex:

Ett normalvärde för standardfiber G.652 vid 1310nm är 1,467700 och för 1550nm 1,468325

Som detta antyder är det naturligtvis också en mätbar skillnad mellan 1530nm och 1560nm.

Begreppet spektralbredd:

Läser vi databladet noga på en billig lasersändare så kan vi se att det står 1550nm \pm 10nm, den levererar alltså en signal som innehåller ljuskomponenter på allt från 1540nm till 1560nm.

Eftersom 1540-ljuset går fortare än 1560-ljuset kommer den totala effekten i pulsen, vid mottagaren vara utspridd i tiden, alltså både lägre och bredare än den var från början.

Även en DWDM-laser med en våglängd på 1550,633nm har en spektralinnehåll, eller som man brukar säga om dessa sändare, linjebredd, så alla ljuskällor har en spridning i ljusspektrat.

Denna spridning garanterar att signalen KOMMER att skapa CD. Ju hårdare systemet pressas, ju fler DWDM-kanaler man utnyttjar och ju fortare man kör desto känsligare blir man!

Ett faktum är att en fyrdubbling av linjehastigheten ökar känsligheten för CD med 16ggr!

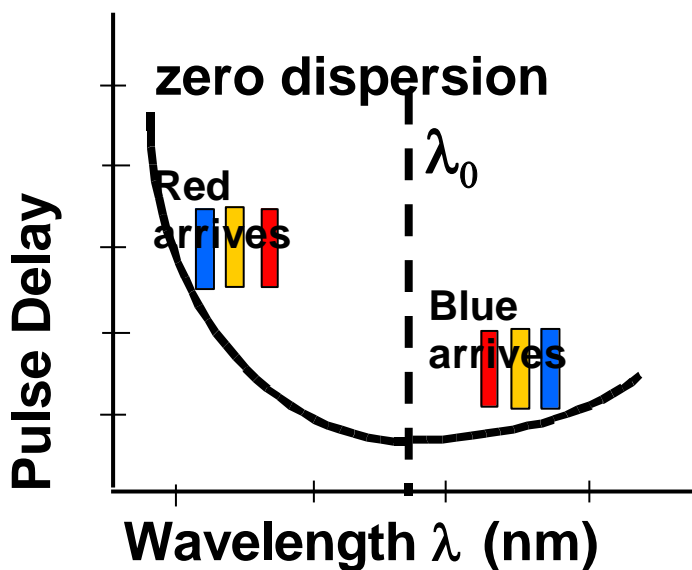
Som lök på laxen är den fiber vi använder mest, G.652, anpassad för att köras på 1310nm.

För att klara att köra höghastighetsförbindelser på 1550nm måste vi återställa CD-värdet med ett kompenationselement.

I dess enklaste form är detta en seriekopplad specialfiber som har rakt motsatt dispersion. Man köper normalt dessa i fasta värden t.ex. kompensering för 65 km standardfiber. Fram till nu har detta faktiskt funkade rätt bra.....

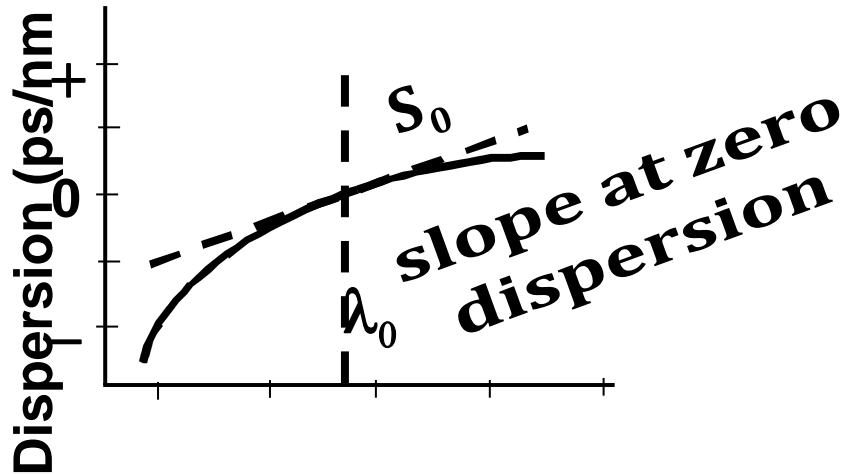
Mätvärden på CD

Eftersom CD är en våglängdsberoende parameter är det egentligen en kurva. För att ta reda på den börjar man med att mäta upp skillnaden i grupploppstid för de olika våglängderna



Någonstans i denna kurva hittar man den punkt där $CD=0$, vanligen omkring 1310 nm.

Genom att räkna om kurvan från "testobjektets fördröjning per våglängd mätt i ps" till "skillnaden per nanometer per km fiber" får man fram de mätvärden man söker:



Man brukar definiera tre siffror tagna ur denna graf:

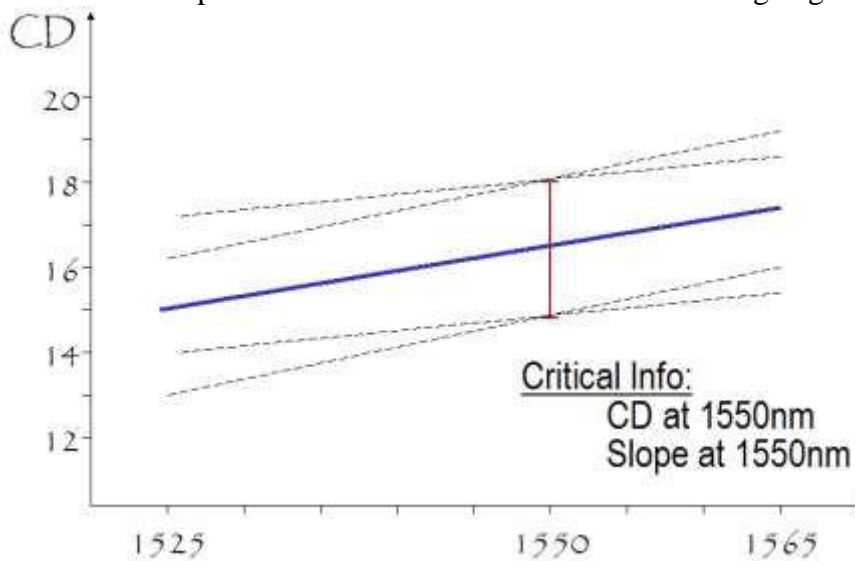
- våglängden vid $CD=0$
- kurvans lutning vid $CD=0$
- CD vid 1550nm

Men vad är det egentligen man vill veta?

Det verkligt intressanta i praktiken är inte längre vad som sker vid 1310 nm, utan hur fibern beter sig i C-bandet.

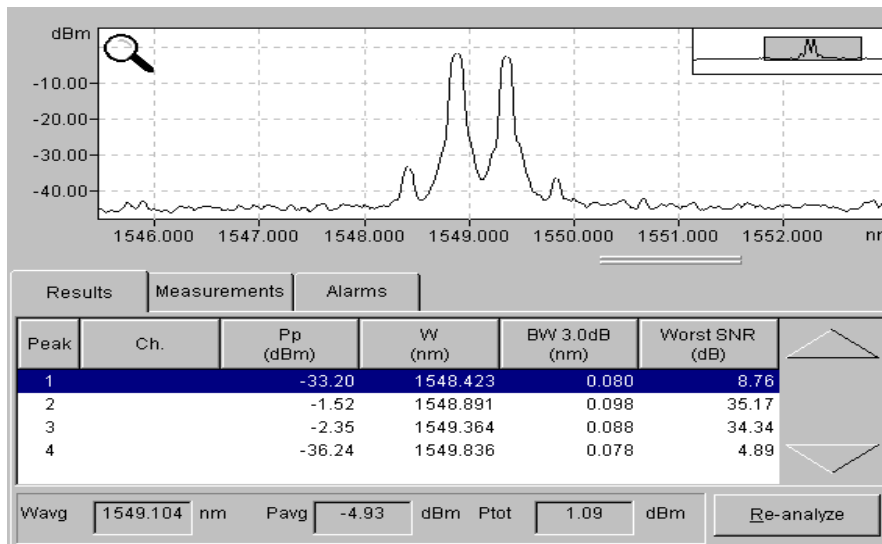
Hur ser kurvan ut mellan 1525nm och 1565nm?

Hur ska vi kompensera för att få rätt värde mellan dessa våglängder?

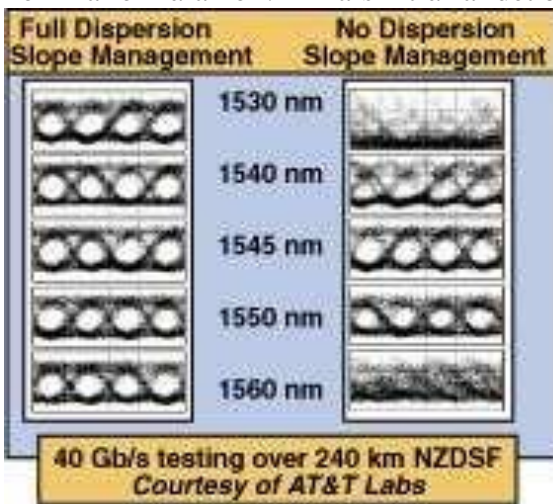


När vi kompenserar behöver vi komma till rätta värdet på varje våglängd inom hela C-bandet, men vi får aldrig komma till noll, eftersom det skapar en massa nya problem.

Då inträffar FWM, four wave mixing. Man kan kort säga att "noll CD" skapar någon sorts eko i fibern, typ tvåtöndstorsion". Kör man två våglängder i en sådan fiber skapas två nya sidband som ger störningar i grannkanalerna.



Konsten här är alltså att skapa en kompensering som funkar vid både 1525nm och 1565nm, utan att komma för nära noll. Annars inträffar det bitfel antingen i ena eller i andra ändan av C-bandet



Misslyckas CD-kompenseringen blir det som i de högra ögonogrammen, inga bitfel runt 1550nm men massor vid 1540 och/eller 1560!

Varje form av CD-mätning innebär att man mäter upp fördröjningen på ett antal olika våglängder och använder sågon sorts interpolering och/eller extrapolering för att fylla i kurvan med punkter mellan mätvärdena. Vilken formel man använder beror på vilken typ av fiber man mäter på, men allt detta blir ändå approximationer!

Poängen är att en mätning som syftar till att kolla upp att kompenseringen kommer att fungera vid alla våglängder mellan 1525 och 1565 nm, också skall mätas på alla våglängder från 1525 till 1565, alla andra våglängder är totalt ointressanta!

Hur mycket praktisk information får man av CD vid 1310, 1480 och 1625nm när man ska kompensera för C-bandet?

Sammanfattning CD

Kromatisk dispersion är inbyggt i fibern, vid långa och snabba transmissioner måste vi kompensera, eftersom merparten av våra fibrer är byggda för att transportera 1310-ljus, inte 1550. Ju fortare vi kör desto mer noga måste vi kompensera.

Polarisationsmodsdispersion, PMD

PMD-problemet är relativt nytt, jämfört CD. På 90-talet upptäckte man att vissa fibrer drabbades av allvarliga dispersionsproblem, trots att man hade full koll på CD. Vissa fiberlänkar, som exempelvis den första fibern till Gotland klarade inte ens av uppgradering av bithastighet från 155 Mb/s till 640Mb/S!

Förklaringen till detta ligger också i variationer i ljushastigheten, men denna gång var det inte våglängdsberoende utan hade sin orsak i ljusets polarisation.

Det visade sig att moder natur inte garanterar att ljus av olika polarisation inte nödvändigtvis går lika fort i en fiber.

Egentligen är det inte så svårt att tänka sig att exempelvis en klämd fiber släpper igenom ljus snabbare när det svänger vågrätt än när det svänger lodrätt...

Här blev det betydligt mer komplext att analysera, eftersom det kommer in många fler faktorer. För det första sänder de flesta ljuskällor ut en hel massa olika polarisationer samtidigt, och till råga på detta förändras dom längs med hela vägen. Att sedan fibern redan från fabrik har små små variationer i symmetrin är ju klart, men när sedan fibern installeras utsätts den för en massa påkänningar som förvärrar situationen. Slutligen kommer miljöpåverkan att ställa till ännu mer, värme/kyla, vibrationer, stenar som klämmer kabeln och så vidare. Alla dessa faktorer kommer att tillsammans ge fibern ett polarisationsberoende dispersionsproblem, PMD, och en av de största bidragande faktorerna är om fibern misshandlats under installationen.

Summan av det hela blir ändå att pulsen breddas och blir lägre, dvs klockren dispersion!

Som antyds i ovanstående blir därmed PMD lite mer komplext eftersom även miljöfaktorer inverkar. Resultatet är alltså att PMD inte är konstant för en fiber. Ett mätvärde idag är inte nödvändigtvis samma imorgon. Å andra sidan gäller detta för många mätningar, till exempel trafikintensitet på E4, men det gör vare sig mätningen opålitlig eller onödig. (Det är ju ungefär samma trafik på E4 en onsdag och en torsdag, men skulle Du mäta på E10 får Du en helt annan siffra!)

De PMD-värden man uppmäter ger ändå en mycket klar bild av huruvida fibern är bra eller dålig, några gränsvärdesdebatter brukar aldrig förekomma, ej heller brukar det vara något våglängdsberoende problem. En klämd fiber är lika klämd på alla våglängder och bra fibrer skiljer sig rejält från dåliga.

Däremot kan man rent statistiskt faktiskt bedöma installatörernas skicklighet på PMD-värdet hos deras fibrer!

En fiberförbindelses PMD-värde är alltså en summering av en hel massa grejor som händer under ljusets resa ner genom kabeln. En osymmetri här, en klämning där och lite vibrationer när fibern passerade under motorvägen. Var och en av dessa faktorer bidrar, men huvudsaken är att summan av dessa bidrag inte överskrider ett kritiskt värde. Vid en bithastighet på 10 Gb/s får inte PMD vara större än 10 ps. (Periodtiden vid 10 Gb/s är 100 ps, 10% av detta värde ger acceptabel PMD)

Vid 40 Gb/s accepteras bara 2,5 ps osv.

Sammanfattning PMD

PMD finns. Det är resultatet av en inte helt perfekt fiber i en inte helt perfekt kabel installerad av en inte helt perfekt installatör i en varierande miljö. Ju mindre perfekt någon av dessa faktorer är, desto större blir risken att fibern inte fungerar som tänkt. Det stora problemet med PMD, är att det inte ännu finns något motmedel, en dålig fiber måste bytas ut eller hastighetsbegränsas!

Dispersionens totala effekt

När vi skickar ljuspulser genom en fiber kommer pulserna att breddas på vägen.

Breddas dom för mycket uppkommer bitfel, inte acceptabelt.

Det är mottagaren som drabbas av dispersion, och den är inte smart nog att se skillnad på CD och PMD, den får bara problem av den sammanlagda dispersionen.

Alltså, ju mer kritisk Din PMD är, desto mer noga måste Du kompensera CD....

Och i verkligheten....

CD och PMD brukar mätas fiber för fiber för att jämföras mot gränsvärden. Det går sedan att teoretisk summera dessa värden för att avgöra om fibern är lämpad för höghastighetstransmission eller inte. Skulle PMD-värdet vara underkänt får man leta rätt på en annan fiber eller helt enkelt välja andra kablar för sin transmission.

CD-värdet är inte en fråga om godkänt eller ej, det är något som används för att dimensionera kompensationen.

Men det finns några intressanta saker att tänka på:

En viktig egenskap man bör tänka på är den eventuella CD-påverkan som fiberförstärkare kommer att ha på den dag systemet skall sättas i drift. Eftersom moderna dispersionsmätare kan mäta på hela den praktiska länken, dvs genom korskopplingar och fiberförstärkare borde man väl mäta igenom CD och PMD på den kopplade länken för att vara säker på att fibern har rätt prestanda?

Att teoretiskt addera CD-värden, speciellt i blandade fibernät med både G.652 och G.655 har visat sig vara väldigt opålitligt. Vill Du veta värdet, mät!

Kunskapen om sitt fibernät kan vara ovärderlig. Tänk Dig att Du har 96 fibrer att hyra ut. Häflten av dessa är tveksamma ur PMD-synpunkt för 40G. Se till att inte hyra ut 40G-klara fibrer till nån som ska köra 2,5G, spara dom till bättre betalande potentiella kunder!

Slutkläm

Idag när många funderar på uppgradering till 10 G eller 40G i sina nät är det värt att ta en funderare. Om vi går till 10G idag, när kommer vi att gå till 40G? 100G?

Det enda säkra är att internettrafiken ökar från dag till dag, vad kommer exempelvis IPTV att ställa till med?

Vi ser också hur nya fibertyper kommen in i bilden, exempelvis G.655, som har andra CD-egenskaper. Detta leder till blandade nät där dispersionen blir nära nog oförutsägbar...

Det finns 40G-system idag som klarar av att köra på en "10G-fiber", men dom kostar en hel del extra. Att betala denna slant idag kan väl kanske vara motiverat om man vet att man aldrig mer behöver uppgradera bithastigheten igen....

Men om Du vill se till att Du klarar nästa uppgradering också, så mät igenom Ditt nät!

Med denna kunskap kan Du spara massor med pengar på utrustning idag, och samtidigt veta vad som måste göras för att förbereda nästa oundvikliga uppgradering inom tre år!