

WE HAVE LIFTOFF, DEL 3 AV 2

Allt det arbete som började 2015, med skisser på servetter och liknande, fick sitt praktfulla avslut den 12 oktober år 2016, när Sunet-C officiellt invigdes i ett dundrande regn av infraröda fotoner. Inte för att det fanns några blågula band att klippa, utan Fredrik Korsbäck firade genom att officiellt öppna länken till Danmark över Öresundsbron och dirigera om all trafik från CERN till Sverige den vägen. På några minuter steg trafiken från noll till flera miljoner paket per sekund.

De två första artikeldelarna tittade närmare på hur Sunet-C är uppbyggt fysiskt och logiskt. Denna tredje del av artikeln beskriver mera i detalj hur en optisk 100 Gbps-förbindelse är uppbyggd, dess elektriska och optiska komponenter och hur ljuset faktiskt ser ut på fibern.

Du kanske tror att ljuset blinkar i fibern, att det är tätt för ettor och släckt för nollor? Alls icke. Det var länge sedan. Numera är ljuset på hela tiden. Två parallella dataströmmar överförs samtidigt på samma våglängd men med olika polarisation. Data representeras som fasförskjutningar i ljuset.

Jo, det är sant. Man kan fasförskjuta ljus! Inte nog med det, varje fasläge bibehålls bara 35 pikosekunder. På den tiden hinner ljuset sju millimeter.

INNEHÅLL

Kvadratur, fyrkantigt data: Hur ljus moduleras

En transmissionslänk: En hel optisk länk på en snygg affisch

En lättöverskådlig labbuppställning: En optisk länk uppkopplad på ett labbord

Komponenterna i praktiken: En isärplockad kommersiell enhet

Läs mer: Mera nyttig läsning

Snabbdata om länkarna i Sunet-C: Komponenterna som används

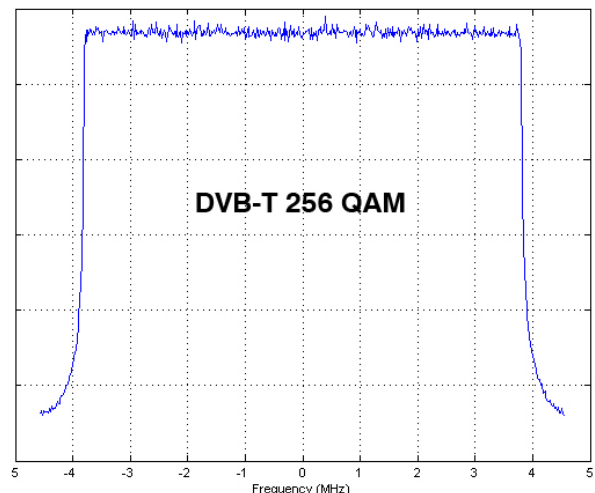
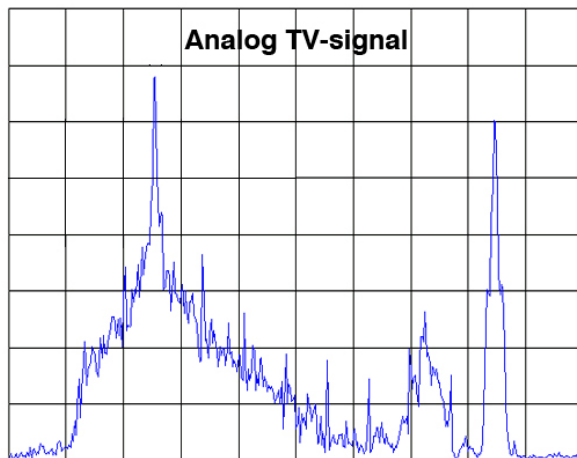
Konstiga ord: Sånt du alltid velat veta

KVADRATUR, FYRKANTIGT DATA

Från början överfördes data på en optisk fiber som av/på-information. När ljuset var på, var det en etta och när ljuset var släckt, var det en nolla. Det var enkelt, men slösaaktigt.

En överföring har normalt bara en enda kanal på en fiber. Kanalen är bara 0,4 nanometer (eller 50 GHz) bred. Det gäller att utnyttja den begränsade bandbredden så mycket det går.

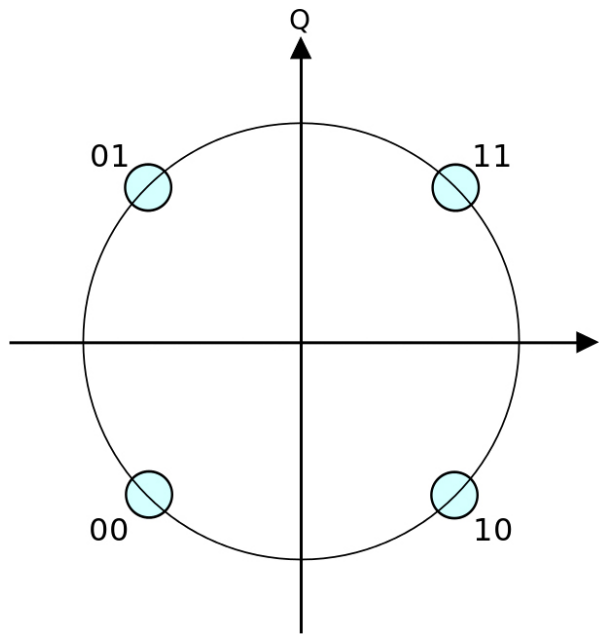
Man kan jämföra med utvecklingen inom TV-distribution. På den gamla goda tiden när TV var analog, tog en enda TV-kanal upp 8 MHz bandbredd varav själva videon bara fick 5,5 MHz på det TV-band som redan var fulltecknat.



Så kom digital-TV. På en DVB-T-multiplex kan man pressa in åtta digitalt kodade TV-kanaler med alldeles utmärkt bildkvalitet och dessutom med högre upplösning än den analoga TV:n, på samma 8 MHz breda kanal. Den optiska överföringen utnyttjar allt det goda som DVB-T drar nytta av, som kvadraturmodulation och Forward Error Correction. Spektrumbilderna ovan visar förhållandet. Allt utrymme under kurvorna är information och du ser hur slösaktig den analoga modulationen är.

Fasskiftmodulation (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) och den mera tätpackade kvadraturamplitudmodulationen (QAM) gör det som den analoga modulationen inte klarade av, nämligen att pressa in maximalt med information ända ut i hörnen på den tillgängliga bandbredden. Dessutom är informationen "lösligare" i den analoga signalen, medan den digitala är lika tätt packad som betong. Mera korrekt kan man säga att den högra överföringen har betydligt mycket högre spektral effektivitet.

Informationen på en 100 Gbps-länk är fasskiftmodulerad. Ljuset är alltid på. Det blir aldrig mörkt i fibern, utom när något är trasigt. Data kodas inte som blinkningar, utan som fasskiftningar i ljuset. Det kan man göra eftersom det går att betrakta ljus som en vågrörelse och den kan man förändra fasan på, kontra en referensfas.



Ljuset på fibern kan anta ett av fyra faslägen, vilket representerar kvadraturkoordinaterna (symbolerna) 00, 01, 10 och 11 på enhetscirkeln i bilden ovan. De fyra koordinatpunkterna liknar hörnen i en kvadrat, därav namnet.

Dessutom flyter alltid ljus av två polarisationer fram, utan att störa varandra. Man kan kalla dem vertikal- och horisontal polariserade, men eftersom det inte finns några horisonter i fibern, kallas de istället för X- och Y-polarisation. Sammantaget kan de båda polarisationerna representera fyra bitar samtidigt, allt från 0000 till 1111.

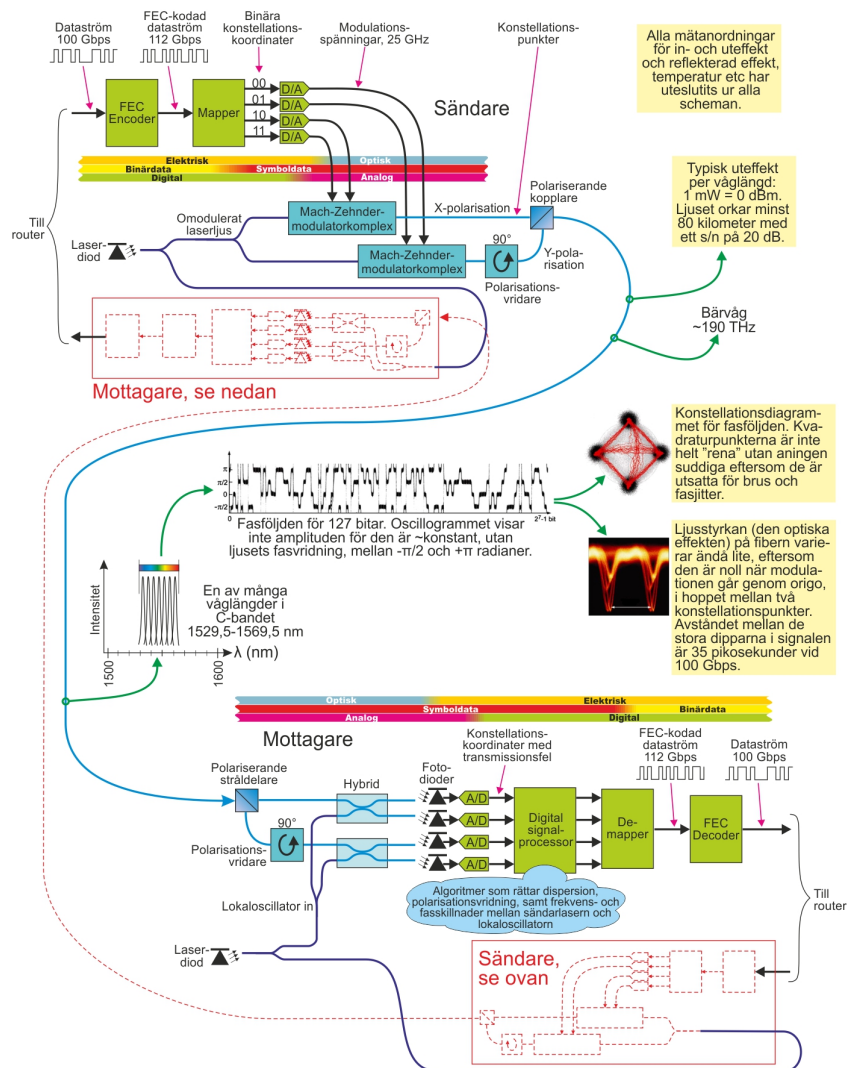
I verkligheten är inte situationen så här "ren" utan koordinatpunkterna kommer att drabbas av brus och "växa", så mycket att det till och med finns risk för sammanblandning. Hur mycket punkterna "växer" blir det som till sist sätter en gräns för hur lång överföringen kan bli.

Den praktiska vinsten med detta är att man på samma bittid och samma bandbredd som det skulle ha tagit att överföra en bit med av/på-metoden (OOK, On-Off Keying), kan överföra fyra bitar med en QPSK-symbol. Man kan också säga att symboltakten är 25 gigasymboler per sekund, medan bittakten är 100 Gbps. Man kan gå vidare och nyttja kvadraturamplitudmodulation (QAM) och överföra åtta bitar på en bittid, men den metoden är ännu under utveckling och kommer att kräva ännu ett betydande tekniksprång. 16-QAM skulle innebära en fördubblad spektral effektivitet, men för närvarande innebär metoden betydligt minskat överföringsavstånd på grund av brus. I detta fall skulle symboltakten fortfarande vara 25 gigasymboler per sekund, medan bittakten blir 200 Gbps.

EN TRANSMISSIONSLÄNK

En länk består av digitala delar för förebyggande felkompensation, analoga delar för modulation, elektrooptiska modulatorer och en laser som skapar ljuset för överföringen. På mottagarsidan demoduleras ljuset och blir till analoga signaler, som digitaliseras och rättas i en signalprocessor.

Principen för 100 Gbps QPSK-transmission och mottagning med koherent mottagare



Jörgen Stådje för SUNET 2017 - www.sunet.se

Klickar du på schemat får du en större version. Gillar du bilden kan du klicka [HÄR](#) och få en högupplöst PDF att skriva ut och hänga på väggen, att ha i undervisningssyfte eller liknande.

Alla blå ledningar i bilden är optiska förbindelser, där mörkblå är omodulerade och ljusblå är modulerade. Alla svarta ledningar är elektriska. De röda, streckade figurerna visar länkens motriktade del. Varje ände av förbindelsen har naturligtvis en sändare och en mottagare, men schemat visar bara en av varje.

Bilden skildrar bara en våglängd av de 96 tänkbara. Mätningarna på mitten av ledningen har utförts i verkligheten med optiskt samplingoscilloskop med samplingtider nedåt en pikosekund. Oscillogrammet visar inte ljusets blinkningar på fibern, för det blinkar (nästan) inte. Istället visas ljusets fasförändringar.

Konstellationsdiagrammet är också ett exempel taget ur verkligheten, där brus och andra fenomen fått verka.

Och här går det undan. Bandbredden på den elektriska signalen är dryga 25 gigahertz, och det är på gränsen till vad man klarar med modern elektronik. Både A/D- och D/A-omvandlarna måste klara att omvandla vågformer på >25 GHz och den digitala signalprocessorn måste klara av att hantera dataströmmar i samma härad. Det är i princip utvecklingen inom digitala signalprocessorer och snabba A/D- och D/A-omvandlare i form av ASIC-kretsar som möjliggjort övergången till 100 Gbps optiska överföringar (eller egentligen 112 Gbps med FEC). Det som tidigare gjordes med komplicerade labbuppställningar, motordrivna enheter eller kilometervis med dispersionskompensationsfiber, utförs idag som algoritmer i programvara.

Låt oss nu titta på de enskilda komponenterna i den ordning de förekommer i bilden ovan. Routern, som är den enhet som vill kommunicera på den optiska länken, matar ut en seriell bitström på 100 Gbps på det gränssnitt som vetter åt länken. Exakt vilket gränssnitt den ska välja, är en fråga för routerns routingtabell som känner till åt vilket håll länken går. Men det beskrev jag i förra artikeln. När den valt gränssnitt, hamnar data i FEC-kodaren.

Forward Error Correction, FEC

Skulle data visa sig vara felaktigt när det kommer fram till mottagaren, på grund av felaktigheter i överföringen, kan man alltid begära omsändning och hålla på tills man får riktigt data. Men det tar tid. Genom att istället offra lite bandbredd kan man mer eller mindre säkerställa att slippa omsändningar. Det lönar sig i längden att offra lite bandbredd på att förse det data som sänds från en avsändare, med tilläggsdata som kan användas för att rätta eventuella fel direkt i mottagaren.

Metoden att förse data med direkt felrättande kod kallas för Forward Error Correction, eller FEC. Det får till resultat att utöver de 100 Gbps data man vill sända, tillkommer 12 Gbps felkorrigerande data som läggs till i sändarens FEC Encoder. Resultatet blir en dataström på 112 Gbps. Man säger att man har en coding rate på 89 % eller en overhead på 12 %. Det ska utrustningen klara, men det är det värt för att slippa omsändningar.

Alla tillverkare av nätverksutrustning har sin egen typ av FEC och de är ingalunda kompatibla, eller ens offentliga. Den tillverkare som kommer på en bättre FEC som kräver mindre overhead har säljfördelar och kan dessutom säkerställa att bara deras utrustning hamnar i nätet, eftersom den inte är kompatibel med någon annans. Av den anledningen har det börjat utvecklas öppna FEC:ar, men de är ännu inte lika effektiva som de hemliga.

Lasern blinkar inte

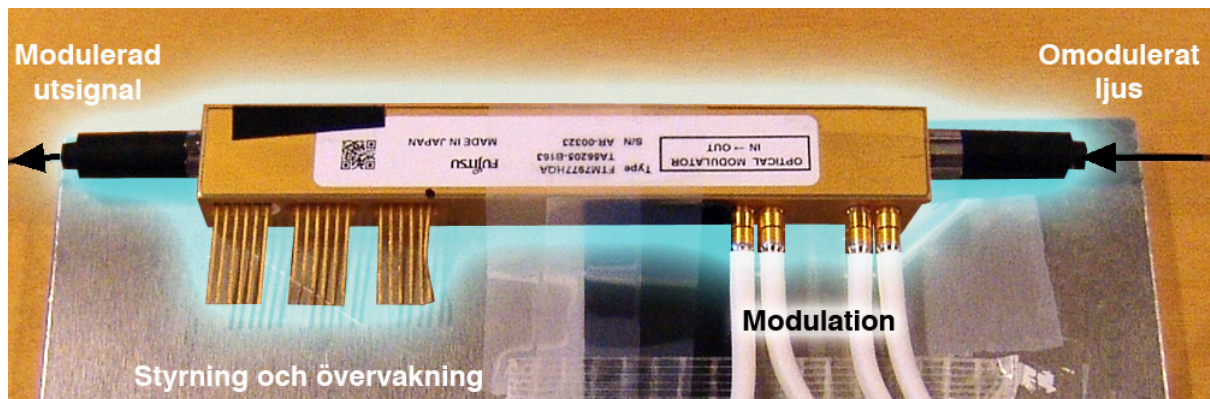
Transceivern har bara en laser, som avger en enda våglängd, med en enda polarisering. Lasern lyser konstant och laserljus är alltid planpolariserat. I Sunet-C är alla lasrar avstämbara för att man ska kunna välja våglängd. Detta ingår i färgplaneringen för nätet och får till resultat att ytterligare några komponenter måste läggas till i transceivern, som inte visas i schemat ovan. Allt om lasern: <https://www.sunet.se/blogg/laserns-historia/>

Mapper

Mappern knådar om bitströmmen till ett modulationsformat. I QPSK tar den en seriell bitström och gör om den till tvåbitars bitpar eller symboler, vilka blir till koordinater (konstellationspunkter) i modulatorens. De digitala symbolerna omvandlas till analoga spänningar och förstärks för att passa modulatorens ingångar.

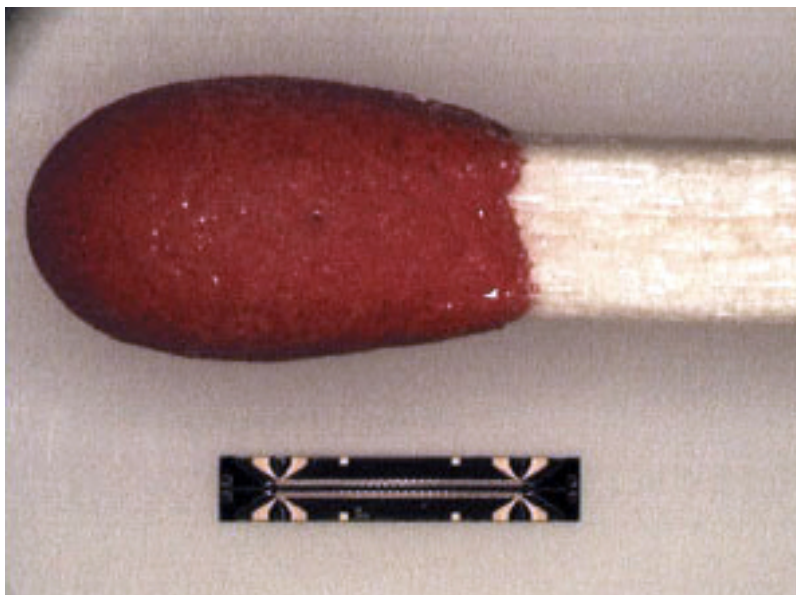
Mach-Zehnder-modulatorens

Det kontinuerliga laserljuset fasmoduleras. Kan man verkligen kasta om faset på ljus? Det är ju flera hundra terahertz. Jo, det kan man, med en Mach-Zehnder-modulator.



En Mach-Zehnder-modulator för labbruk, kapabel att modulera 112 Gbps. Modulationen kommer in på de fyra vita koaxialkablarna, medan de övriga anslutningarna är till för förspänningar, temperaturhållning och olika effektsensorer. Kristallerna kräver uppvärmning och ett antal förspänningar utöver själva modulationsspänningen mellan 0-10 volt. Dessutom krävs att kringelektroniken håller koll på innertemperaturen och lasereffektnivåerna in och ut. Anordningen är komplex. Enheten är cirka 15 centimeter lång.

Den smått "magiska" komponenten i schemat ovan är Mach-Zehnder-modulatorens. Den är numera en standardkomponent i all optisk transmissionsutrustning. Modulationen är något mera komplicerad än vad schemat ovan visar, men det blå blocket "Mach-Zehnder-modulator-komplex" duger bra för att förklara principen.

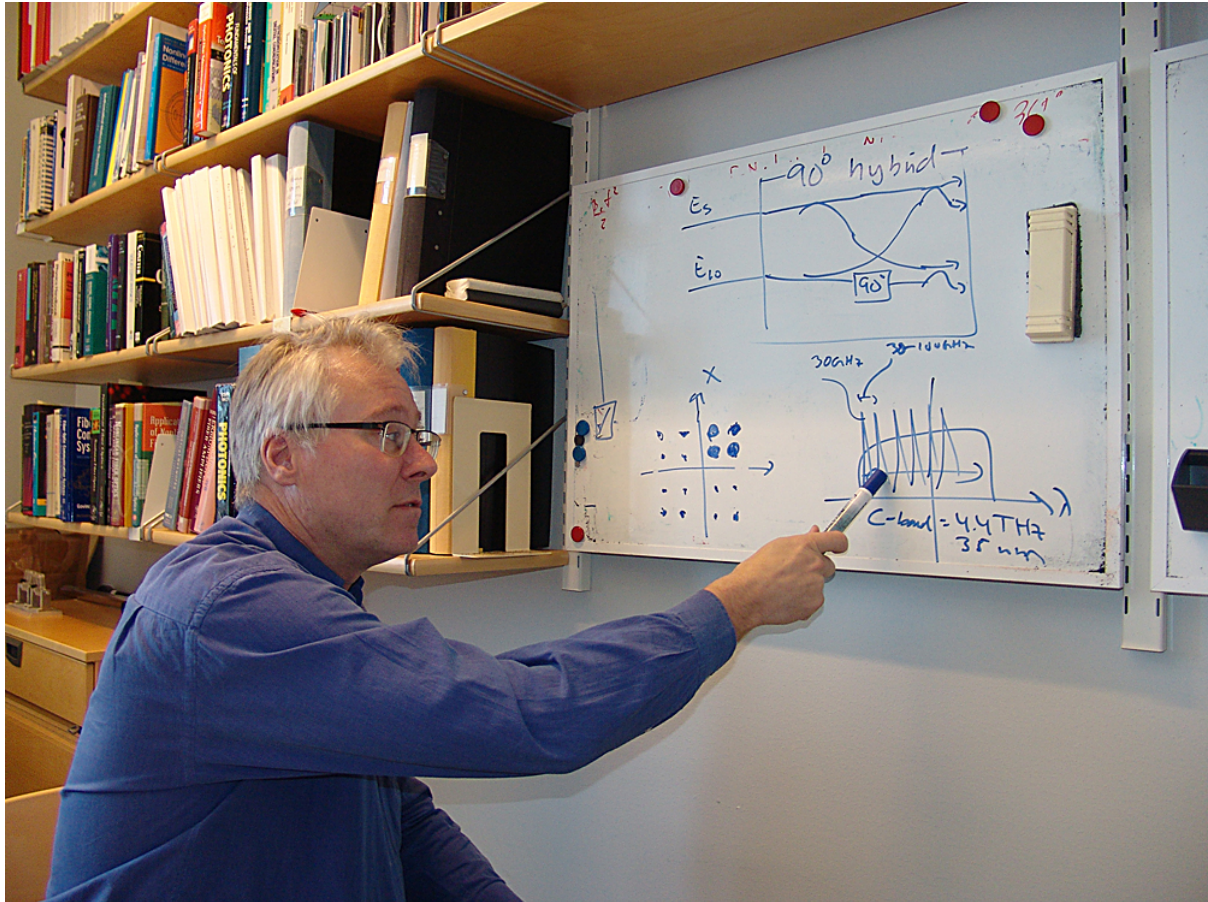


Själva kristallen där fasvridningen utförs är inte stor. Avstånden i den aktiva delen (de båda grå linjerna i mitten) är i storleksordningen en mikrometer.

Litiumniobat (LiNbO_3) är en kristall som kan trola med ljuset. Dess egenskaper beror bland annat på att den är dubbelbrytande, alltså att ljus av olika polarisation går fram med olika hastighet genom materialet och en hel massa andra egenskaper. Dess brytningsindex kan styras med ett pålagt elektriskt fält. Litiumniobat används flitigt i telekombranschen eftersom det är optiskt olinjärt och kan användas för frekvensdubbling av laserljus, optiska switchar, modulatorer, optiska vågledare, med mera. Ämnet förekommer inte i naturen utan framställs konstgjort på ungefär samma sätt som högre kisel till halvledare, alltså att det dras upp ur en roterande smälta enligt Czochralski-metoden och därefter sågas i tunna skivor. Redan de gamla vikingarna använde sig av fenomenet dubbelbrytning i ett navigeringshjälpmedel kallat solsten, som uppfanns långt före kompassen.

Mach-Zehnder-modulatorens är ett komplex av flera modulatorer. Den består av flera parallellkopplade kristaller som fasvrider ljuset på olika sätt beroende på pålagda modulationsspänningar. Genom att dela ljuset i två delar och ändra fas på den ena kommer resultatet när de båda möts igen, att bli destruktiv interferens, en amplitudmodulering, eller båda, om man så vill.

Ut ur komplexet av kristaller kommer sålunda ett kontinuerligt laserljus vars fas kan varieras (kontra det inkommande ljuset) i exempelvis fyra vinklar runt enhetscirkeln, 0, 90, 180 och 270 grader eller 0, $\pi/2$, π , $-\pi/2$ radianer, så kallad fasmodulation.



Professorerna Magnus Karlsson och Peter Andrekson på Chalmers försöker få undertecknad att begripa

Polarisationsvridare

Det modulerade ljuset ut från båda modulatorerna har samma polarisation. Därför måste den ena ljusstrålens polarisation vridas 90 grader, så att de båda kan skickas in i samma fiber och färdas som två skilda strålar. Det gör man med en polarisationsvridare eller rotator. Därefter sätter man ihop de båda strålarna till en enda i en baklänges stråldelare, eller polariserande kopplare.

Den koherenta mottagaren



Mottagaren är egentligen två mottagare, en för X-polarisationen och en för Y-polarisationen. Eftersom de båda polarisationerna kommer in från samma fiber måste man skilja dem åt och det gör man med en polarisationskänslig stråldelare (PBS, Polarisation Beam Splitter) som delar upp ljuset i två polarisationskomponenter, en X- och en Y-komponent.

Man kan välja på att antingen åter-rotera den ena polarisationen som kommer från fibern 90 grader, så att den stämmer med den lokala laserns polarisation, eller rotera en del av det lokala laserljuset 90 grader så att det stämmer med den ljusstråle som kommer in. Det är vilket som.

Inne i mottagarna interfererar vardera polarisationskomponenten med ljuset från lokaloscillatorn och fasskillnaderna detekteras. I princip är det två likadana mottagare bredvid varandra.

Det detekterande elementet är en PIN-fotodiod som träffas av det mottagna ljuset och lokaloscillatorn samtidigt och resultatet blir konstruktiv eller destruktiv interferens. Fotodioden omvandlar det sammansatta ljuset till en elektrisk ström som kan förstärkas och analog-digitalomvandlas till en ström av symboler.

Principen är ungefär densamma som i en superheterodyn-mottagare för radio, där man också blandar en lokaloscillator med den inkommande radiosignalen. Radiomottagaren har emellertid en fördel. I exempelvis en vanlig FM-mottagare, går det utmärkt att hålla sådan frekvensnoggrannhet på lokaloscillatorn att man inte tappar bort sändarefrekvensen. Där räcker det med en noggrannhet på 10^{-5} . I en optisk överföring på 190 terahertz skulle man behöva hålla en noggrannhet på 10^{-12} och det vore i praktiken ogörligt. Istället kommer fasan mellan den mottagna signalen och lokaloscillatorn att driva mot varandra och orsaka en skillnadsfrekvens. Det är upp till programvaran i den efterföljande signalprocessorn att eliminera diskrepanserna.

Digital signalprocessor



Bild: Qurren, CC BY-SA 3.0

Den digitala signalprocessorn (DSP) och dess kringkomponenter integreras normalt på samma specialtillverkade kiselbit, i vad man i branschen kallar för en ASIC (Application Specific Integrated Circuit). När man lägger ett helt datorsystem på en enda kiselbit brukar det kallas System on a Chip, (SOC). Det finns företag som inte gör annat hela dagarna än att tillverka ASIC, som Qualcomm, Broadcom, Freescale, NEC, Fujitsu m fl.

Ut ur signalprocessorn kommer de fyra konstellerskoordinaterna (symbolerna) 00, 01, 10 och 11 för X-polarisationen och fyra likadana för Y-polarisationen.

Polarisationsrotation, dispersionskompensering mm

Optisk fiber är jättebra, bara man inte rör den. Nedgrävd fiber är det ingen som rör. Men när den hängs upp i toppen av en kraftledning och vinden stormar emot den, skakar den och polarisationen på det ljus som leds i fibern kastas om

slumpmässigt. Det är inte så bra när man använder två separata dataströmmar på samma våglängd men med olika polarisation. När det blåser ordentligt kan polarisationen rotera uppåt 150.000 radianer i sekunden (eller 23.900 varv/s). Med enbart mekaniska anordningar för att kompensera hade detta gjort överföringen omöjlig, men med moderna signalprocessorer är det inga problem. 150 kiloradianer per sekund är inget mot dataströmmens 112 miljarder variationer per sekund, som mottagarens signalprocessor måste kunna hänga med i.

All överföring resulterar i att en ljuspuls i en fiber inte kommer fram oskadd i andra änden. Dispersionen är den egenskap som gör att ljus av en våglängd kommer fram lite före, eller efter en annan. Ljuset i fibern har en bandbredd på 25 GHz och ljus av något kortare våglängd fördröjs något mer än den längre våglängden. Resultatet blir en i tiden utsmetad puls. Om pulsen smetas ut kommer detta att sätta en gräns för hur korta pulser man kan överföra, eftersom de tenderar att ta i varandra så det inte går att skilja dem åt. Det anger i sin tur hur snabba pulser, eller hur många bitar per sekund fibern kan överföra.

Ytterligare en arbetsuppgift för signalprocessorn är att ta hand om skillnaden i frekvens mellan sändarlasern och lokaloscillatorn. Det kommer alltid att bli till en skillnadsfrekvens, och den kommer att driva i både frekvens och fas över tiden och detta måste trolas bort av programvaran för att signalen som kommer in i demappern ska bli så bra som möjligt.

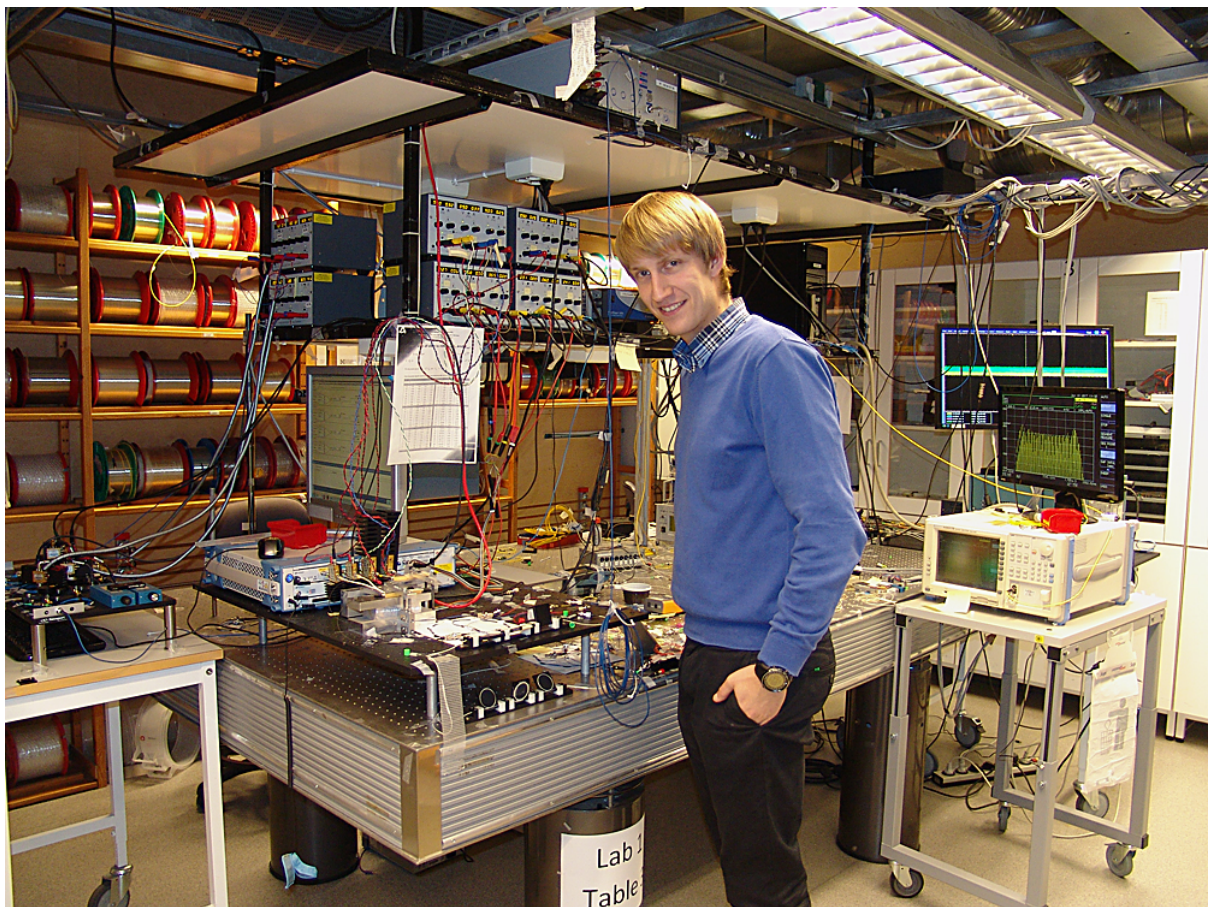
I de flesta befintliga nät används fortfarande en kilometerlång rulle med dispersionskompenserande fiber för att klara detta: <https://www.sunet.se/blogg/fibertyperna-i-natet-och-deras-optiska-felaktigheter/> Sunet-C är sålunda väldigt modernt inrättat eftersom dispersionskompenseringen sker med programvara i en DSP.

Demapper

Symbolerna tas in i demappern där de görs om till en kontinuerlig bitström på 112 Gbps. Resultatet av två konstellationer tillsammans blir fyra bitars seriellt data.

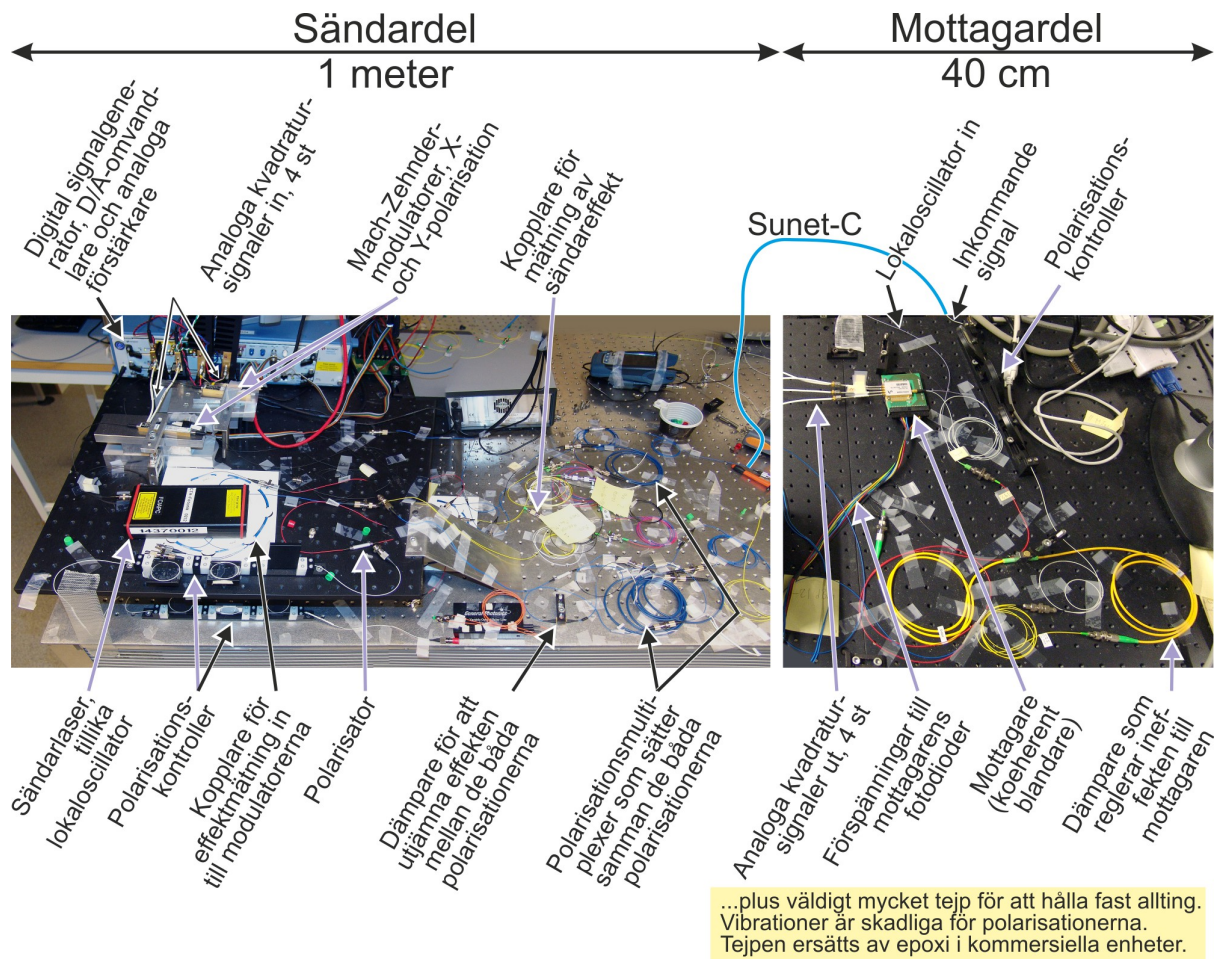
När data har kodats av till en seriell dataström går det vidare till en FEC Decoder, där felrättning appliceras om det behövs, varefter FEC-koden skalas av och 100 Gbps levereras till den router där transceivern sitter inpluggad.

EN LÄTTÖVERSKÅDLIG LABBUPPSTÄLLNING



För att du ska förstå komplexiteten i en 100 Gbps transceiver har chalmersforskaren Mikael Mazur ställt upp en motsvarande koppling på ett optiskt bord, på fotoniklaboratoriet vid institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap. Bordet är så stort

och tjockt för att det inte ska vibrera och det står på fjädrande ben för att vibrationer i byggnaden inte ska fortplantas till bordet. Vibrationer är alla optiska kopplingars värsta fiende. Notera för övrigt rullarna med optisk fiber i bakgrunden.



I just denna koppling används samma laser som sändare och lokaloscillator för mottagaren, för att de befinner sig på samma bord. Det fungerar inte i verkligheten när det kan vara 1000 kilometer mellan länkens båda ändar. Då har man en sändarlaser i ena änden av länken och en annan laser som agerar lokaloscillator i mottagaren i andra änden. Och däri ligger en del av problemen. De båda lasrarna håller givetvis inte exakt samma våglängd (frekvens) och kommer att driva i förhållande till varandra (se ovan).

Lasern på bordet är kopplad till en polarisationskontroller som linjerar ljuset till den efterföljande polarisatorn. Polarisatorn ser till att ljuset som skickas in i modulorn är av rätt polarisation och eliminerar eventuella fel i linjeringen av polarisationskontrollern. Efter polarisatorn skickas ljuset till en kopplare (blå slinga) som används till att övervaka effekten in i modulorn. Efter modulatorena finns en till kopplare för att övervaka sändareffekten innan ljuset kopplas ihop med en polarisationsmultiplexer. Resultatet blir att data kan överföras på båda polarisationerna.

I mottagardelen finns också en polarisationskontroller. Precis innan mottagaren finns det optiska förstärkare, och för att säkerställa att ljuset in i den optiska mottagaren inte har för hög effekt finns en dämpare (gul slinga) följt av en kopplare för att övervaka denna effekt. Lokaloscillatorn kommer genom en separat fiber och blandas med den inkommande signalen. Resultatet blir fyra stycken analoga signaler som, i en teoretiskt ideal värld, ska motsvara de elektriska signalerna i sändaren. I praktiken behövs både signalbehandling och FEC för att lyckas med detta.

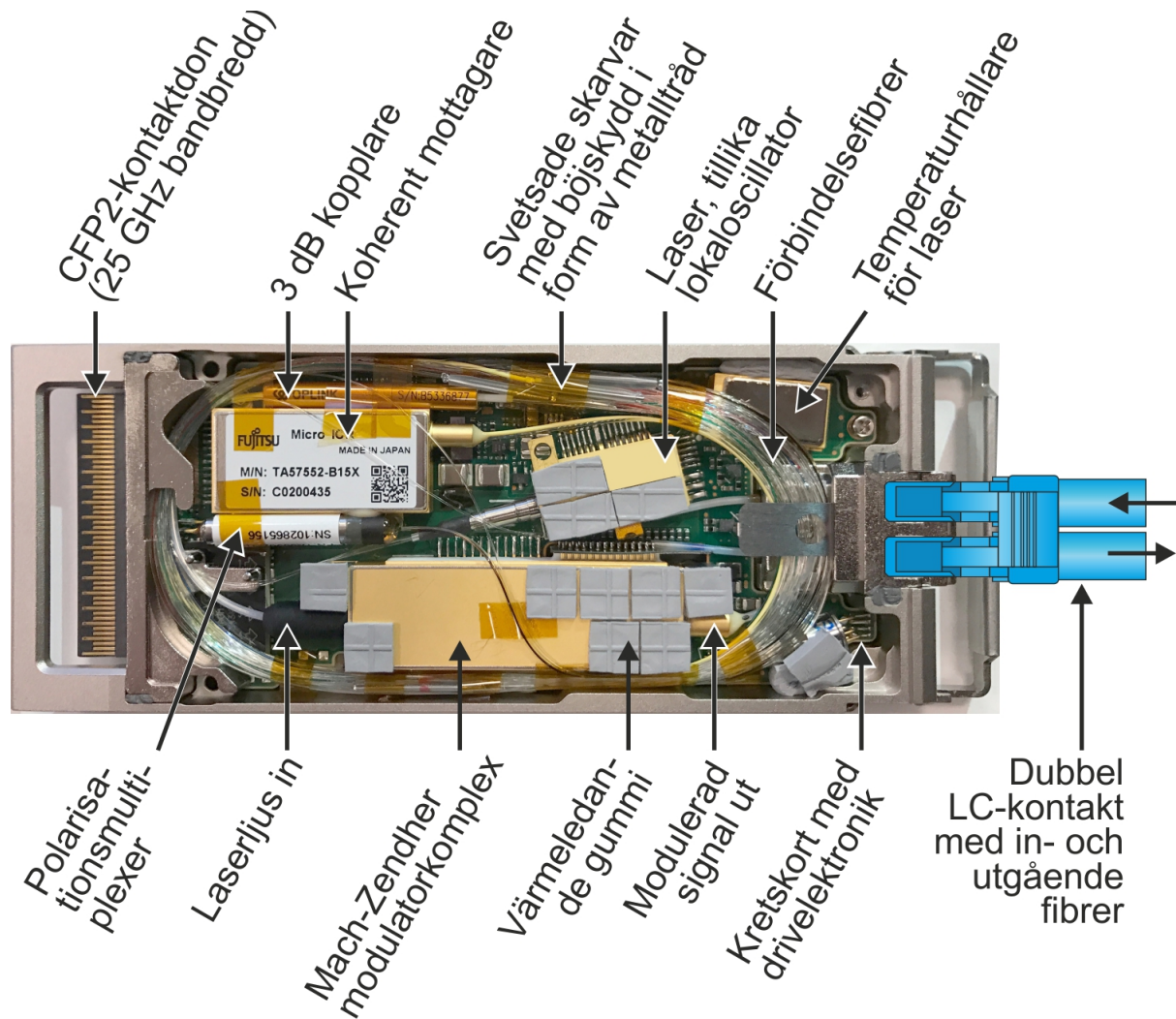
KOMPONENTERNA I PRAKTIKEN

All labbutrustning i bilden ovan har tillverkarna sedan virat ihop och klämt ihop på bästa sätt, lyckats få in i ett standardiserat skal i form av en CFP2 optisk transceiver på 10×4 centimeter och säkrat med massor av epoxi.



Innehållet i de enskilda modulerna inuti detta kommersiella exemplar från Finisar är en väl dold industrihemlighet och vår välgrundade gissning kan vara lika bra som någon annans.

Som du ser finns det en hel rulle optisk förbindelsefiber för mellankopplingar inuti modulen. Alla delmoduler levereras i sin tur från olika underleverantörer med en fibersvans och den klipper man helst inte av, utan skarvar bara på, på nästa komponent.



Anledningen till att det inte är exakt samma typ av komponenter i labbuppställningen som i den kommersiella enheten är att samma funktion kan åstadkommas på många olika sätt i den optiska världen och ser olika ut från olika tillverkare. Mach-Zehnder-modulatore är dock ohotad kung i alla konstruktioner.

Notera särskilt temperaturhållaren för lasern. Eftersom transceivern är av den avstämbare typen, måste man kunna variera laserkrystallens temperatur och därmed dess utstrålade våglängd med en motståndsvärmare monterad på kristallen och det är av yttersta vikt att temperaturen hålls konstant. Det går inte för sig att den utstrålade våglängden varierar.

Det värmeledande gummit som finns ovanpå alla optiska enheter ansluter termiskt till det lock som skruvats av för denna bild, som agerar kylare.

När man sedan stoppar in transceivern i en router i datorhallen ser det ut så här.



Ta nu bara 64 sådana här länkar och vips så har du Sunet-C.

LÄS MER

Här är de två tidigare artiklarna i serien

Artikeln del 1: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-1-av-2/>

Artikeln del 2: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-2-av-2/>

Dispersion: <https://www.sunet.se/blogg/dispersion-grundläggande-om/>

Hur man pressar in ännu mera data: <http://www.idg.se/2.1085/1.590938/nar-fibern-blir-full-trycker-vi-in-lite-till>

Det heloptiska samplingsoscilloskopet som användes vid mätningarna: <http://techworld.idg.se/2.2524/1.258864/optiska-samlingsoscilloskop-en-helt-ny-art>

SNABBDATA OM LÄNKARNA I SUNET-C

Typ av transceiver: Finisar 200G/100G Tunable C-Band CFP2-ACO Coherent Optical Transceiver FTLC3321x3NL

Antal transceivrar: 128

Antal DWDM-sträckor: 64

KONSTIGA ORD

ASIC: Application Specific Integrated Circuit, applikationsspecifik krets, oftast en digital krets som är specialtillverkad för en enda arbetsuppgift, till exempel i ljud- eller optiksammanhang, eller den typ av krets som hanterar Ethernet i en persondator.

ASK: Amplitude Shift Keying, amplitudnyckling eller gammal hederlig amplitudmodulering.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing, metoden att packa 96 våglängdskanaler tätt inom ett smalt band, exempelvis C-bandet.

Koherent: Laserljus av endast en våglängd, där alla ljuspartiklar går i fas och förstärker varandra. Grunden för optisk långdistanskommunikation.

OOK: On-Off Keying, digital modulering för optiskt bruk, av/på-modulering av ljusstrålen.

OSNR: Optical Signal-Noise Ratio, Optiskt signal-brusförhållande, ett mått på hur bra en optisk överföring är. En kvalitetsfaktor.

PBS: Polarisation Beam Splitter, polarisationskänslig stråldelare, en samling prisma som kan dela upp en inkommande optisk signal i dess olika polarisationer, eller köras baklänges och föra samman två ljusstrålar av olika polarisation till en enda.

PSK: Phase Shift Keying, fasskiftnyckling är när bärvågens modulation får faser att hoppa mellan två kvadraturpunkter.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation, kvadraturamplitudmodulation är när bärvågens fas- och amplitudmodulation hoppar mellan åtta eller fler kvadraturpunkter. 16-QAM är i framkant i dagens optiska värld, medan 256-QAM används för digital-TV.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying, kvadraturfasskiftnyckling är när bärvågens modulation får faser att hoppa mellan fyra kvadraturpunkter och representera symbolerna 00, 01, 10 eller 11.

Superheterodyn: Metoden att detektera en högfrequenssignal genom att låta den interferera med en lokaloscillator och därigenom skapa en lågfrekvent skillnadssignal som är lättare att hantera.

Skriven av



JÖRGEN STÄDJE

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