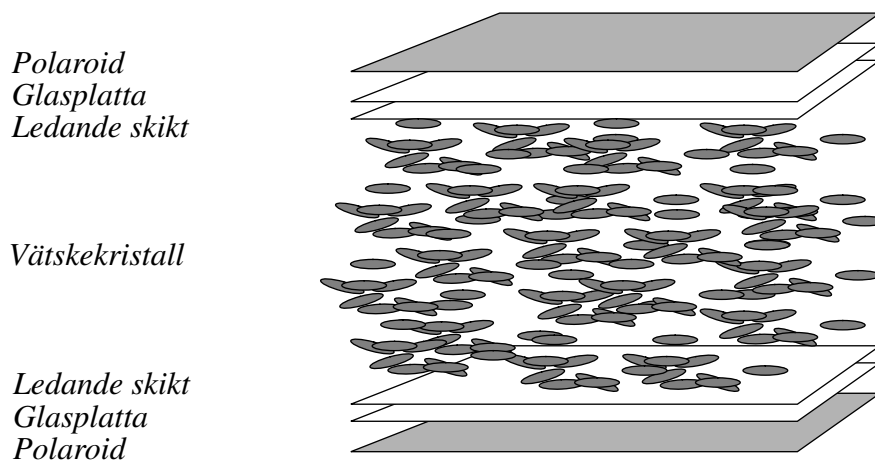


LCD - Vätskekristall-displayer

Vätskekristaller förekommer idag i många olika tillämpningar. Den vanligaste är LCD - Liquid Crystal Displays i digitalur och bildskärmar. Dessutom används vätskekristaller i vissa termometrar och i ljusmodulatorer. De speciella egenskaperna hos vätskekristaller utnyttjas på olika sätt och vi ska här berätta hur. Ha gärna den förra artikeln (Sci 2/96) till hands, om ni inte minns riktigt allt.

Det finns flera olika metoder att göra displayer, och de utnyttjar skilda egenskaper hos vätskekristallerna. Den vanligaste metoden är Twisted Nematic - TN, medan en annan metod är Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystals - SSFLC. Chalmersforskare, under ledning av professor Torbjörn Lagerwall, har spelat en viktig roll i utvecklingen av de senare. Vi inriktar oss här främst på dessa båda typer, TN och SSFLC.

Den gemensamma principen för alla sorters displayer är att ett tunt lager vätskekristall mellan två glasplattor påverkas av ett elektriskt fält. Då kan de optiska egenskaperna och därmed förmågan att vrida planpolariserat ljus styras. För att göra skillnaden synlig har man polaroider framför och bakom glasen. En sådan anordning kallas för en cell.



Figur 1: En enkel vätskekristallcell

Som ni kanske minns är vätskekristaller känsliga för både mekanisk påverkan och elektriska fält. Den mekaniska påverkan är oftast ytvillkor. Det betyder att ytorna är behandlade på ett sätt som gör att molekylerna gärna lägger sig i en viss riktning intill ytan. Eftersom molekylerna påverkar varandra, kommer hela provet att rätta sig efter ytvillkoren så bra som möjligt. När molekylerna bara påverkas av ytvillkoren är cellen stabil och det krävs en viss energi för att rubba jämvikten. När vi lägger på ett yttre elektriskt fält påverkas molekylerna dels av ytvillkoren, dels av fältet. Med ett litet fält händer nästan ingenting, medan vi med ett tillräckligt starkt fält kan vrida molekylerna. Då ändras också de optiska egenskaperna. Som ni minns så finns ju en stark koppling mellan ordningen i materialet och dess ljusbrytning.

För att molekylerna skall påverkas av fältet, krävs att de är dielektriskt anisotropa. Dielektrisk anisotropi anger molekylernas uppförande i ett elektriskt fält och bestäms dels av deras

permanenta dipolmoment, dels av det dipolmoment som kan induceras av det elektriska fältet. (Det senare är frekvensberoende.) Vanligtvis avser man med *dipolmoment* molekylernas permanenta dipolmoment. I fortsättningen avser vi dock med *dipolmoment* det effektiva dipolmoment, som anger hur molekylerna vill orientera sig i ett elektriskt fält.

Det som främst skiljer de två metoderna är att man använder ämnen i skilda vätskekristallina faser. I ena fallet använder man sig av ett ämne i nematisk fas, och i det andra av smektisk C*.

Twisted Nematic

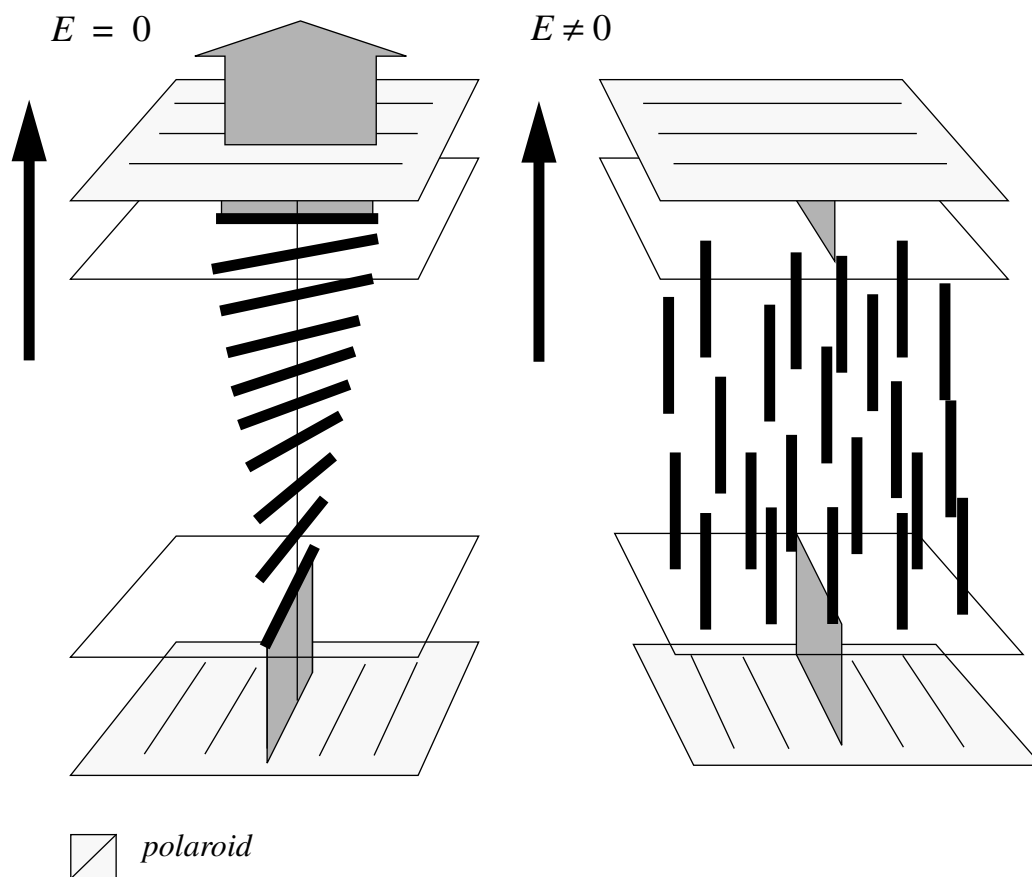
De flesta och vanligaste displayerna är av typen Twisted Nematic (TN). Alla digitalur och de flesta tunna bildskärmar bygger på denna metod. Metoden utvecklades redan på 60- och 70-talen och kommer säkert att användas ett tag till.

TN-cellen bygger på en intressant iakttagelse: Om man lägger molekylerna i en spiral vrider de polariserat ljus efter spiralen, vilket observerades redan 1911.

Hur lägger man då molekylerna i en spiral? Med ytvillkor kan man få molekylerna att lägga sig i en bestämd riktning utefter glasytan. Man preparerar de båda glasytorna så att dessa riktningar är vinkelräta, dvs molekylerna vid den ena glasytan är vinkelräta mot dem vid den andra. Eftersom vätskekristallmolekylerna i nematika vill ligga parallella med varann, så kommer molekylriktningen att gradvis vridas från den ena ytan till den andra. Detta är den mest stabila konfigurationen, vilket innebär att om vi stör molekylerna så kommer de sedan, när störningen upphört, att lägga sig tillbaka i spiralen.

Spiralstrukturen är då cellens grundtillstånd och vi låter detta vara genomskinligt genom att applicera de båda polaroiderna vridna 90° mot varandra. När vi skickar in ljus från ena hållet polariseras det och går planpolariserat in i cellen. Ljuset vrids sedan 90° i cellen, utefter molekylspiralen. Då släpps det igenom den andra polaroiden och vi har en genomskinlig cell. Så ser en miniräknare ut när den är avslagen. Den är dock inte helt genomskinlig, eftersom hälften av ljusstyrkan försvinner då man polariserar ljuset. Därför är miniräknare och digitalur lite gråa i bakgrunden.

Vad händer då när vi lägger på ett elektriskt fält? Om molekylerna har ett dipolmoment längs molekylerna, kommer de att vilja lägga sig parallellt med fältet. Spiralstrukturen försvinner och ljuset vrids inte längre. Det polariserade ljuset går rakt genom cellen och träffar på den andra polaroiden. Nu är ljusets polarisationsplan vinkelrätt mot den andra polaroidens polarisationsplan och det släcks ut helt. Inget ljus går igenom, så cellen är svart. Invid ytorna ligger fortfarande molekylerna parallellt med glasets, men de är så få att de inte påverkar ljuset nämnvärt. När man tar bort det elektriska fältet glider molekylerna tillbaka till sin stabila spiralstruktur.



Figur 2: Av (ljus) och på (svart) för TN-cellen

Till TN-celler väljer man alltså sådana molekyler som är i nematisk fas inom det önskade temperaturintervallet och med ett dipolmoment längs molekylerna, så att de vill lägga sig parallellt med det elektriska fältet. Som tur är finns det massor med olika molekyler att välja mellan. Ett problem är dock att det är svårt att hitta ett ämne som har dessa egenskaper inom ett tillräckligt stort temperaturintervall. Därför används i praktiken blandningar av flera ämnen. Problemet med temperaturtålighet är anledningen till att inte vätskekristalldisplayer utnyttjas i större utsträckning i exempelvis bilar.

En enkel TN-cell

En enkel TN-cell kan man sätta ihop av ett par bitar ledande glas (glas med ett tunt skikt av t ex ITO, indium-tenn-oxid), lite vätskekristall och epoxylim. Ytvillkoren ordnas genom att glasytorna gnuggas med en papperstuss i någon riktning. MBBA som vi nämnde i föregående artikel är visserligen i nematisk fas vid rumstemperatur, men har inte önskat dipolmoment, varför man lämpligtvis använder annan nematika, exempelvis en blandning som kallas E7.

Om man önskar en cell med någorlunda kvalitet måste man anstränga sig lite mer än vad som beskrevs ovan. De ledande glasplattorna bör rengöras noggrant (exempelvis med aceton). För att ordna ytvillkoren kan man applicera ett tunt skikt av en mjuk plast (polyimid), som efter att det härdat borstas försiktigt och rakt. För att få rätt tjocklek på cellen lägger man tunna (4-10 μm) plastremor (av mylar) mellan glasplattorna. Glasplattorna limmas därefter

samma på ett speciellt sätt, varefter vätskekristallen suges in med en vacuum pump. För att kunna styra det elektriska fältet löder man till sist fast anslutningssladdar på glaset.

En TN-cell som konstrueras på detta sätt är i grundtillståndet genomskinlig mellan korsade polaroider, medan den är svart om en spänning appliceras över elektroderna. Cellen "släpper" dock ganska snabbt vid likspänning, pga jonvandring i cellen. Av den anledningen måste vi lägga på en växelspänning för att behålla cellen svart. Bilderna nedan visar en sådan cell i grundtillståndet, i det påslagna tillståndet, samt då cellen släpper. (Bilderna tagna mellan korsade polaroider.)

Bild 1: TN-cell (E7) i grundtillståndet

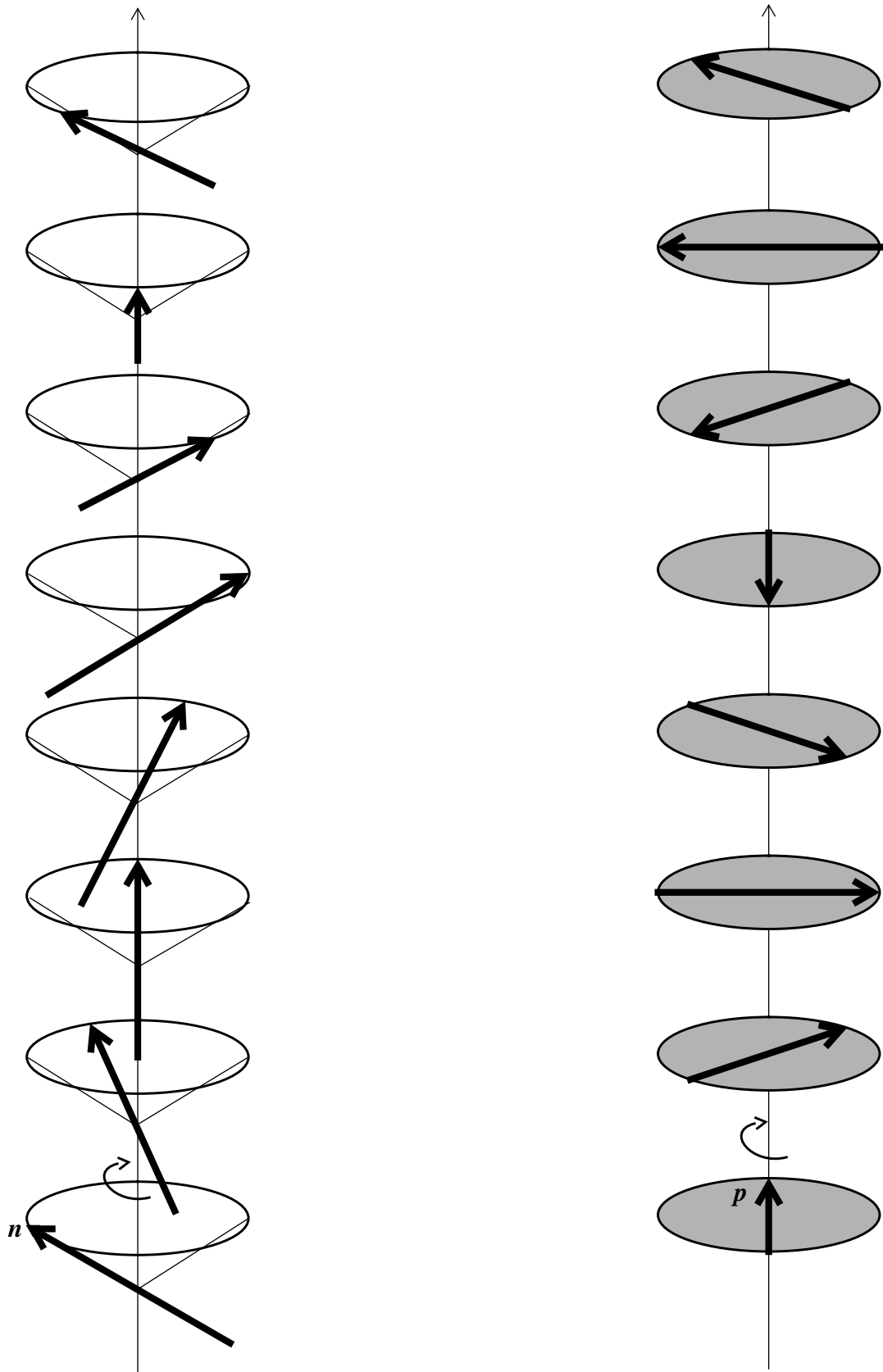
Bild 2: Samma cell i påslaget tillstånd, växelspänning fyrkant 50 Hz

Bild 3: Samma cell i påslaget tillstånd men med lägre frekvens, 1.0 Hz

SSFLC(D)

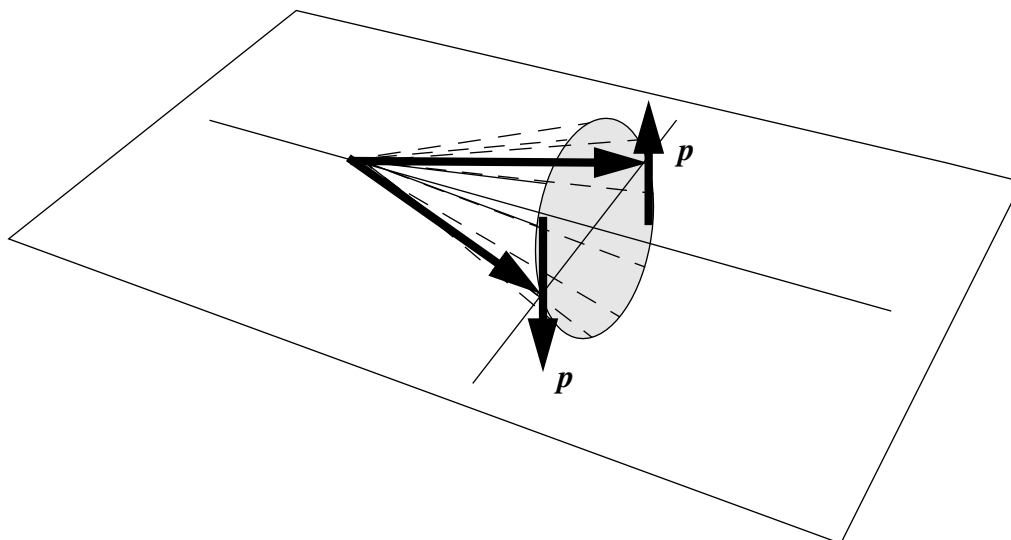
En typ av skärmar som kommer att få allt större betydelse är SSFLCD - *Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Displays*. Utvecklingen av SSFLCD drog i gång ordentligt i början av 80-talet, sedan principen för SSFLC upptäckts vid Chalmers.

I SSFLCD använder man sig av kiral smektisk C, vilket som bekant brukar skrivas smektisk C*. I smektisk C* lägger sig molekylerna spiralliskt runt en axel - se figur 3.



Figur 3: Smektisk C^* med dipolmoment i riktningen p tvärs molekyllaxeln n . Pitchen har gjorts mindre relativt avståndet mellan de smektiska planen än vad som är fallet.

Om man ordnar en cell så att spiralaxeln ligger parallellt med glasytorna (de smektiska molekylskikten är då orienterade tvärs glasytorna, som böcker i en bokhylla), och man preparerar glasytorna så att molekylerna föredrar att lägga sig parallellt med dessa, så blir det bara två av alla molekylriktningar längs spiralen som stämmer med ytvillkoren. Det kommer alltså i stort att finnas två möjliga riktningar för molekylerna - se figur 4. Eftersom molekylerna är asymmetriska kan dipolmomentet följa med rotationen såsom visas i figur 3. Därför kan makroskopisk polarisation lätt erhållas genom att en spänning appliceras över cellen (mellan glasplattorna). De möjliga lägena för denna polarisation är alltså upp resp. ned tvärs cellen. Dessa båda lägen är stabila, och det krävs således ingen spänning över cellen för att hålla kvar molekylerna i den önskade riktningen när de väl hamnat där. Molekylerna kan också enkelt flippas över i det andra läget, av ett fält motsatt polarisationen över cellen.



Figur 4: De två möjliga direktorlägena. Dipolmomentet anges med p .

Vilka blir då de optiska egenskaperna hos en sådan cell? Vi anmärkte i vår förra artikel, att vinkeln mellan molekylerna och den axel, kring vilken de bildar en spiral, ofta är i närheten av $22,5^\circ$. Vi kan i det följande anta att den är just $22,5^\circ$, så blir det både enklare och bättre. Om vi låter molekylriktningen i cellen representeras av direktorn, kommer alltså denna att vridas 45° mellan de två lägena. Vi kan då lätt inse att vi kan få cellen att switcha mellan svart och vitt under de rätta betingelserna. Till att börja med placerar vi cellen mellan korsade polaroider. (Det fungerar naturligtvis lika bra med parallella polaroider!) Ljus som passerar den första av de båda polaroiderna kommer då att vara planpolariserat. Om vi orienterar cellen så, att direktorn i det ena läget ligger i detta polarisationsplan, kommer som vi beskrev i föregående artikel inget att hända med ljuset. Hela ljusets komponent ligger ju parallellt med direktorriktningen, och att brytningsindex är olika parallellt med och vinkelrätt mot direktorriktningen har då

ingen inverkan. Det ljus som kommer ut på andra sidan av cellen kommer alltså att ha ett polarisationsplan som är vinkelrätt mot polarisationsplanet för den andra polaroiden, eftersom vi har provet mellan korsade polaroider. Resultatet blir då utsläckning. Cellen blir svart.

Om vi nu för ett kort ögonblick lägger på en spänning över cellen med sådan riktning att molekylerna flippar över i det andra läget, kommer alltså direktorn att vridas 45° . Nu kommer polarisationsplanet för det ljus som träffar cellen bilda vinkeln 45° med direktorn. För att förstå vad som sker delar vi nu upp ljuset (exempelvis E -vektorn) i två komponenter, en parallell med direktorriktningen och en vinkelrät mot denna. Dessa båda komponenter är lika stora, eftersom vi har en vinkel av 45° . Eftersom brytningsindex är olika i de två riktningarna kommer de två komponenterna att förskjutas. Om vi avpassar cellens tjocklek så, att de på andra sidan kommer ut förskjutna en halv period relativt varandra, kommer vi som vi tidigare konstaterat att erhålla planpolariserat ljus med polarisationsplanet vridet 90° mot den ursprungliga riktningen. Polarisationsplanet är nu parallellt med det för den andra polaroiden, ljuset slipper igenom och cellen blir genomskinlig.

Man kan alltså få cellen att switcha mellan svart och vitt genom att under ett kort ögonblick lägga på ett fält motsatt polarisationen. Sedan stannar cellen i det läget; den är bistabil. Man behöver inte, som är fallet med TN-cellen, ha en växelspänning över cellen för att den inte skall släppa. Detta innebär energibesparingar samt att styrningen av cellen förenklas. Dessutom blir cellen mycket snabb och kan fås att switcha på runt $1 \mu\text{s}$, vilket kan jämföras med tider på 1 ms för de snabbaste TN-cellerna.

En enkel SSFLCD

Att göra en riktigt bra SSFLCD innebär en mängd svårigheter, särskilt om serietillverkning avses. Man måste ha rätt substans, glasplattorna måste prepareras på rätt sätt, varje pixel skall kunna styras (inte nödvändigtvis genom direktadressering - se under "Fler pixels"), avståndet mellan glasplattorna måste ligga inom ett visst intervall... . Att konstruera en display med endast en pixel, alltså endast en cell, behöver dock inte bli så komplicerat. En sådan kan man slänga ihop på ett par minuter om man inte är alltför kräsen vad gäller kvaliteten. Man skär då helt enkelt ut två glasbitar preparerade med ledande skikt. Efter att glasbitarna tvättats (exempelvis med kloroform), appliceras en droppe av vätskekristallen mellan plattorna. Man kan då exempelvis använda sig av en blandning som går under beteckningen ZLI-3654. Därefter klämmer man ihop glasbitarna, så att vätskekristallen trycks ut mellan dem. Nu gäller det att trycka ihop glasbitarna så att utrymmet mellan dem blir tillräckligt litet, samtidigt som man med våld försöker orientera molekylerna så att de smektiska planen genom hela provet blir parallella med varandra och ortogonala mot glasbitarna.

För att ge molekylerna rätt riktning lägger vi på en spänning över cellen, samtidigt som vi försiktigt skjuvar glasplattorna fram och tillbaka under tryck (helt enkelt genom att man lägger cellen mot pekfingrarna och drar fram och tillbaka med tummarna). Då kommer molekylerna att orientera sig på ett sådant sätt att de är lättroliga i den riktningen. Att så är fallet känner man lätt. Om man nämligen har skjuvat några gånger och sedan vrider cellen 90° och igen försöker skjuva fram och tillbaka, känner man ett avsevärt motstånd. Cellen vill nu hellre skjuvas åt sidan än framåt, men efter ett par skjuvningar släpper cellen efter och glasplattorna glider ånyo lätt mellan fingrarna. Eftersom molekylerna rör sig med lätthet inom de smektiska planen, måste alltså dessa nu vara orienterade parallella med skjuvningsriktningen. Planens lägen är dock ännu inte helt bestämda. Vi vet endast att skjuvningsriktningen ligger i planen.

Hur är då dessa plan orienterade? En rimlig orientering, med tanke på att vi har en spänning över cellen, är ortogonalt mot glasplattorna. Om vi då tittade i skjuvriktningen och om vi hade möjlighet att urskilja de smektiska planen, skulle vi alltså se dessa som böcker i en bokhylla (där bokhyllan alltså representeras av de båda glasplattorna). Denna modell som ofta går under beteckningen "bookshelf" duger i många fall för att förklara cellens uppförande. Man erhåller alltså den situation som visas i figur 6.a. De celler man erhåller på detta sätt är enkla att tillverka, de är bistabila och de kan med lite trixande fås att skifta mellan vitt (svagt gulvitt) och svart. Nackdelen med tillverkningsmetoden är dock uppenbar. Att skjuva en hel skärm med bibehållen konstant tjocklek innebär tekniska svårigheter. Metoden är dock mycket användbar när man snabbt vill sätta ihop en cell för att exempelvis undersöka egenskaperna hos någon ny substans. I bilderna 4-5 visas en sådan cell, med ZLI-3654, i dess två stabila tillstånd. Bilderna är tagna med cellen mellan korsade polaroider och spänningen frånslagen.

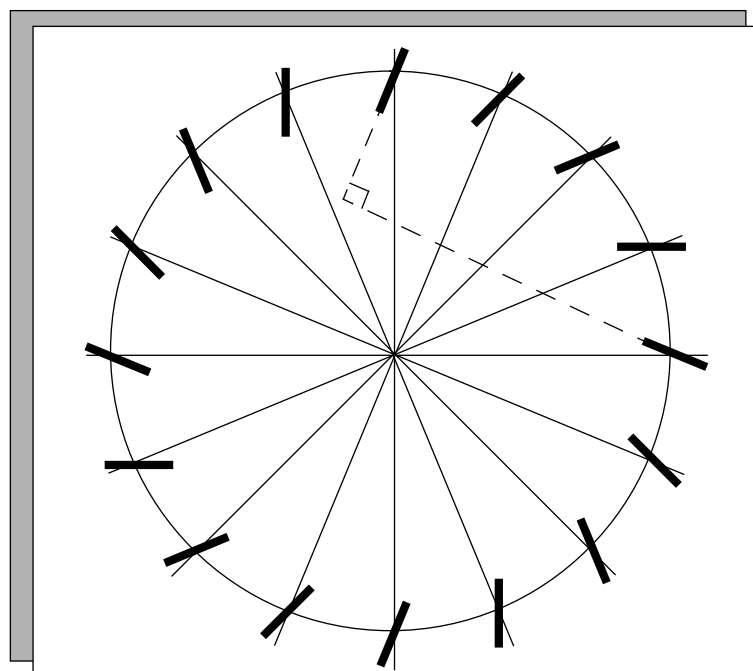
Bild 4: En enkel SSFLCD i dess ena stabila tillstånd

Bild 5: Samma cell i dess andra stabila tillstånd

Väderkvarnen

Om man istället för att som ovan skjuva plattorna fram och tillbaka, vrider dem mot varandra samtidigt som man trycker något, erhålles en roligare - men mindre användbar - display. Även här känner man ett visst motstånd mot skjuvningen i början, men detta släpper snabbt och skivorna glider runt mot varandra, som vore de inpassade mot varandra i cirkulära spår. Vi bör då kunna dra slutsatsen att de smektiska planen är orienterade i skjuvningsriktningen. Tillräckligt långt från centrum är situationen densamma som för en cell som skjuvs fram och tillbaka. Om de slutsatser vi drog beträffande de smektiska planens orientering för den cellen är korrekta, bör då i detta fallet de smektiska planen vara orienterade ortogonalt mot glasplattorna i koncentrisk skal runt centrum för vridningen. Normalen till de smektiska planen kommer då att variera i cellen och hela tiden vara riktad rakt ut från centrum.

Vilka effekter får då detta för cellens ljusbrytande egenskaper? Om vi har bistabilitet så som tidigare beskrivits kommer vi att ha två möjliga direktorlägen runt varje normal. Dessa lägen antar vi som tidigare vara $22,5^\circ$ avvikelser från normalen. Om vi följer cirkeln runt kommer direktorn succesivt att vridas i förhållande till det infallande ljusets polarisationsplan. Där vinkeln mellan dem är 0 eller 90° får vi utsläckning och vid 45° släpps ljuset igenom, om cellens tjocklek är den rätta. Mellan dessa lägen sker en mjuk övergång. Om vi med ett elektriskt fält switchar cellen, lägger sig molekylerna i det andra läget och mönstret blir inverterat. I figur 5 och bilderna 6-7 syns kanske tydligare vad vi menar.



Figur 5: Väderkvarnen i dess ena läge, cellen sedd ovanifrån

I en cell konstruerad på detta sätt kommer vi alltså att (mellan korsade polaroider) kunna se omväxlande ljusa och mörka fält, totalt fyra mörka fält. Dessa ser ungefär ut som armar på en väderkvarn. Likheten med en väderkvarn blir ännu större om vi lägger på en växelspänning (fyrkantvåg) över cellen. Då flyttar sig armarna 45° fram och tillbaka vid varje växling. Eftersom armarna flyttar sig just 45° och eftersom vi har just fyra armar, ser det ut som om armarna roterar. Eftersom vinkeln mellan direktorn och normalen inte är riktigt $22,5^\circ$, kommer det dock snarare att se ut som om armarna flippas fram och tillbaka, vilket är just vad som händer. I bilderna 6-7 visas en enkel sådan cell (med ZLI-3654) i sina två lägen. De två lägena är stabila, vilket innebär att om cellen är i något av sina två lägen och vi avlägsnar spänningskällan, kommer cellen att ligga kvar i det läget tills vi på nytt lägger på en spänning över cellen. Båda bilderna är tagna med spänningskällan frånslagen.

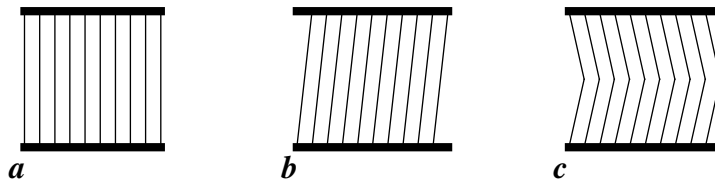
Bild 6: Väderkvarnen i dess ena stabila läge

Bild 7: Väderkvarnen i dess andra stabila läge

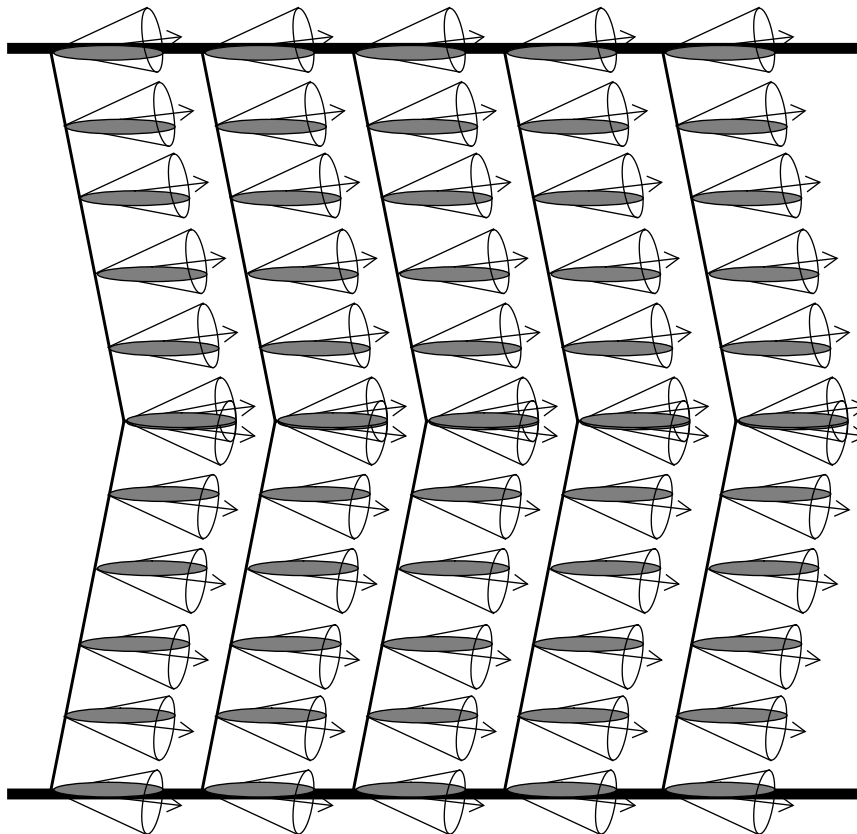
Riktigt så enkelt är det ju inte...

Ovan antogs de smektiska planen vara helt ortogonala mot glasplattorna. Det är inte enda möjligheten för att direktorn skall ligga parallell med glasplattorna. De smektiska planen kan också bilda en vinkel med glasplattorna annan än 90° , såsom visas i figur 6.b. Vi kan också ha den situation som visas i figur 6.c och 7, med en brytning någonstans (inte nödvändigtvis i mitten). Detta senare brukar kallas *chevron* och har visat sig vara vanligt förekommande. Dessutom ligger molekylerna ofta med en liten vinkel mot glasplattorna och inte helt parallella med

dessa. (Figuren visar det förenklade tillståndet, då denna vinkel är noll.)



Figur 6: a) Bookshelf
b) Bookshelf med lutande smektiska plan
c) Chevron, bookshelf med brutna plan



Figur 7: Tänkbar struktur i chevron (en av flera möjligheter)

Fler pixels

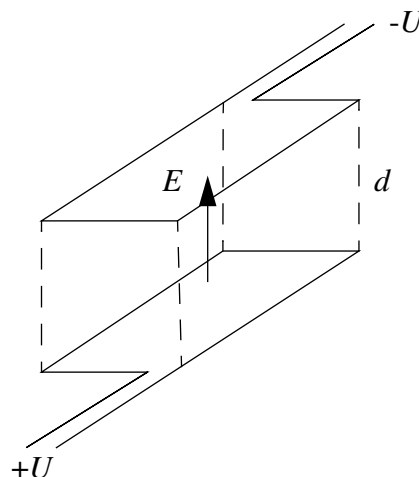
Oftast vill man ha displayer med flera bildelement som kan styras oberoende av varandra. I ett digitalur t ex kan alla siffror representeras med sju element. Ett annat exempel är bildskär-

mar i bärbara datorer.

Själva cellerna är konstruerade på samma sätt som vi beskrivit tidigare. Man lägger alltså ett vätskekristallint material mellan två glasplattor med ledande skikt. Skillnaden är att man gör mönster i det ledande skiktet på glasytan. På så sätt kan man lägga ett elektriskt fält över en liten del av cellen utan att påverka resten. Det finns två sätt att lösa det, som i sifferdisplayer eller (m x n)-displayer. I båda fallen är alltså pixlarna inte avgränsade från varandra, utan vätskekristallen kan flyta mellan dem. För att få färg på skärmen lägger man oftast på färgfilter på ytan av cellerna. Fyra eller fler monokroma pixlar blir då en färgpixel. Man brukar ta en röd, en grön och två blå.

Sifferdisplayer

Ett exempel på användning av sifferdisplayer är i digitalur. Siffrorna består av sju segment, som vart och ett kan styras individuellt. Det är alltså sju pixels för varje siffra. Ovanför och under varje segment finns ett område med ledande material och när man lägger på en spänning mellan det övre och det undre området så switchar pixeln. Strömmen leds fram till de ledande områdena genom att man lämnar kvar tunna band av genomskinligt ledande material från kanten av cellen fram till området.



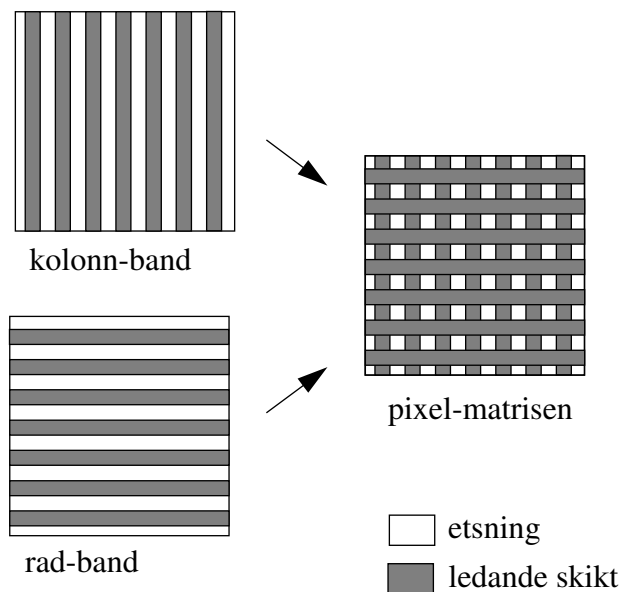
Figur 8: Ett segment i en sifferdisplay

Då kan man undra varför detta elektriska fält bara påverkar molekylerna just där. Varför blir det inte suddiga kanter? Svaret ligger i cellens dimensioner. Bredden på en pixel eller ett segment är ca 1 mm. Tjockleken på vätskekristall-lagret är ca 10 μm , dvs hundra gånger tunnare. Det elektriska fältet avtar därför kraftigt vid sidan av pixeln. För att switcha en cell krävs att det elektriska fältet är starkare än ytstabiliseringen, och en bit ifrån pixeln är ytstabiliseringen starkast.

Den här sortens displayer är alltså stabila i den meningen att pixlarna inte påverkar varandra alls. De används mest som just sifferdisplayer och i Game&Watch-spel.

(m x n) - displayer

I mer avancerade skärmar som ska kunna visa text och grafik är ett rutmönster av fyrkantiga pixlar lämpligt. Moderna miniräknare och bärbara datorer har alla sådana skärmar. I grunden byggs de upp på samma sätt som sifferdisplayer, fast man har ett annat mönster i de ledande skikten. Här lägger man de ledande skikten i band på glaset - se figur 9. När man sedan lägger glaset mot varandra ser man till att banden hamnar vinkelräta mot varandra. Det blir alltså rad-band på det ena glaset och kolonn-band på det andra. Då kan man skapa ett elektriskt fält över en pixel i taget genom att lägga en spänning över motsvarande rad-band och kolonn-band.



Figur 9: Rader och kolonner etsas på glaset (etsningarnas bredd har överdrivits i figuren)

Som du kanske förstår är det inte riktigt så lätt som att vi utan vidare kan adressera pixlarna individuellt, utan att de övriga påverkas. Om man lägger på potentialen $+U$ på det ena och $-U$ på det andra bandet får vi ett fält på $E = 2U/d$ (där d är avståndet mellan glaset) över den utvalda pixeln. Vi får emellertid ett fält på $0.5E$ över alla andra pixlar utefter de två banden eftersom potentialen är 0 på de andra banden (som vi väljer till nollnivå). I en TN-cell kan detta fält påverka pixlarna så att de börjar switcha och blir grumliga. Det problemet kan man lösa på olika sätt. Ett av de vanligaste är att bygga in en liten transistor i botten av varje pixel. Detta är den sk TFT-tekniken (TunnFilms-Transistor). För SSFLCD är det lite lättare eftersom varje pixel behöver ett fält över en viss gräns för att överhuvud taget reagera. Då väljer man U så att E är större och $E/2$ är mindre än gränsvärdet. Styrningen av displayer, adresseringen av pixlarna, har under åren utvecklats kraftigt och det finns idag ganska raffinerade metoder att tillgå.