

Technologie TFT LCD

Konečně se dozvíte, jak fungují současné LCD panely

TOMÁŠ JIRÁSKO

I když k představení prvního displeje z tekutých krystalů na technologii DSM došlo již v roce 1968 společností RCA a v roce 1971 byl vyroben první LCD displej s TN maticí, k masovému rozšíření došlo až v posledních letech. Svůj podíl na tom kromě zlevnění výroby má i značné zlepšení parametrů samotných monitorů. Kupující je i tak ovšem mnohokrát vydán napospas trhu a otázky, proč můj „papírově superhyper“ monitor zobrazuje hůře než kolegův „laciňák“, slycháváme až příliš často.



Na našem trhu jsou totiž LCD displeje stále ještě trendovou záležitostí a i díky slabší kupní síle teprve nyní probíhá zřetelné střídání technologií. Také proto si většina kupujících neuvědomuje rozdíly mezi jednotlivými LCD panely, byť jsou mezi jednotlivými typy ještě větší než v případě TV přijímačů.

Jelikož se množí i dotazy, které se přímo týkají LCD, rozhodli jsme se připravit tento článek, jenž by vám měl napomoci k základní orientaci v problematice displejů postavených na řešení TFT LCD panelů, které současnému IT trhu s plochými monitory dominují.

Příběh začíná

V roce 1888 botanik Friedrich Reinitzer, působící na univerzitě v Praze, objevil, že cholesterilbenzol kapalný při 145,5 °C a po dosažení 178,5 °C se stává čirou tekutinou. Stav mezi těmito hodnotami nazval kapalnou krystalizací. V roce 1889 německý fyzik Otto Lehmann experimentoval se směsí jodidu stříbrného a benzoátu cholesterolu a dosáhl stejného stavu mezi pevným a kapalným skupenstvím. Pro tento jev použil označení tekuté krystal. Ty byly dlouho považovány spíše za jakousi anomálii a je-

jich zkoumáním nebyl věnován nijak velký prostor. Situace se změnila až v polovině minulého století, kdy se ukázalo, že jejich fyzikální vlastnosti je předurčují pro použití v displejích.

Společné vlastnosti

Tyto organické látky (tekuté krystal) totiž mají vlastnosti kapaliny, nicméně jejich elektromagnetické a optické vlastnosti odpovídají látkám pevným. Dnes dělíme tekuté krystal podle vzniku krystalické fáze na termotropní a lyotropní, kdy u prvních vzniká krystalická fáze nad teplotou tání, u lyotropních dochází k tomuto jevu v roztoku. My se zaměříme pouze na termotropní skupinu. U ní totiž dochází ke kapalně krystalické fázi s různě uspořádanými molekulami ve tvaru tyčinek, disků a podobně. Podle uspořádání molekul rozdělujeme tyto tekuté krystal na nematické, smektické a sloupcové. A právě nematické krystal nás zajímají nejvíce. Jejich molekuly jsou podlouhlé a úzké a mají orientované uspořádání. Díky tomu dochází při průchodu světla z trubice přes vrstvu tekutých krystalů umístěnou mezi elektrodami ke změně jeho polarizace, a to v závislosti na orientaci molekul v prostoru. Tuto orientaci lze měnit díky regulaci napětí v elektrickém poli. Mo-

lekuly jsou totiž elektricky neutrální, nicméně velikost náboje v částech molekuly se může lišit. Molekula se tak stává dipólem a v elektrickém poli má tedy snahu orientovat se v jeho směru. Odtud tedy název LCD – Liquid Crystal Display. Samozřejmě ke změně elektrického pole nedochází náhodně, klíčem k tomuto jevu je další zkratka TFT (Thin Film Transistor). V konstrukci TFT LCD displejů má každý subpixel tranzistor (u některých řešení i dva) udržující a řídicí napětí. Tranzistory jsou po celé ploše displeje a vytvářejí ve složení panelu další vrstvu. Díky jejich řešení a výrobě se označují jako tenké tranzistory. Toto spojení díky kontrole každého obrazového bodu se označuje rovněž jako aktivní matice.

Jediné, co mají všechny displeje označované jako TFT LCD společné, je princip, na kterém pracují. Krystal podle přiváděného napětí mění orientaci a tím určují, jakou intenzitu a charakter bude mít propuštěné světlo. Ovšem jaká je jejich základní orientace a jakým způsobem se vlivem napětí mění, není pro všechny monitory stejné. V současné době se běžně na trhu setkáváme s trojicí odlišných řešení, která samozřejmě dosahují rozdílných parametrů obrazu. Jde o matice typu TN, IPS a VA.

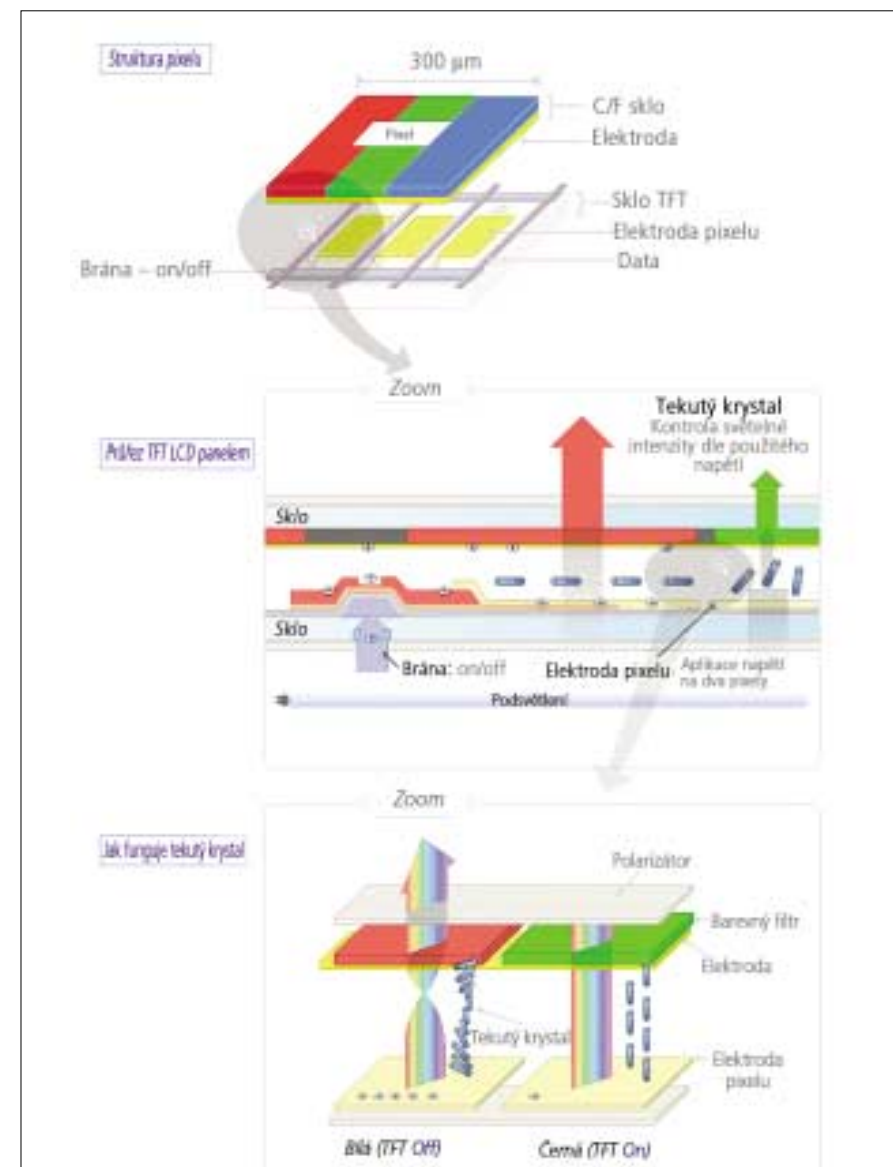
TN, TN+F

Pokud jsou nematické krystal tvořeny chirálními molekulami obsahujícími uhlík s asymetrickou vazbou, vytvoří molekuly spirálu – tato fáze se nazývá rovněž cholesterická. Právě odtud dostala první technologie TFT LCD panelů svoje označení TN (Twisted Nematic).

U TN matice jsou tedy molekuly vzájemně otočené, takže jednotlivé vrstvy vytvoří v podstatě jakousi spirálu. Krystal je umístěn mezi příčnými polarizátory (polarizační mřížky), které jsou upraveny tak, aby „vnější“ molekuly ležely stejným směrem jako polarizátory. Molekuly tekutých krystalů tak díky spirálovitému tvaru mezi oběma vrstvami vedou světlo. V okamžiku, kdy se ocitnou pod napětím, se tato spirála rozpadne a světlo přestane procházet. Molekuly tedy otáčejí rovinu polarizovaného světla až o 90°. Přerušení průchodu světla však není dokonalé, dokonce s úhlem pohledu slábne, a tak tyto displeje mají všeobecně problémy s podáním syté černé barvy a nelze u nich dosáhnout vysokého kontrastního poměru. U TN matic dochází při pohledu z větších úhlů k žloutnutí bílé a k šednutí tmavších barev. Mezi jejich výhody patří vysoká rychlost odezvy.

Současné TN panely jsou doplněny ještě tenkým filmem (to je ono F v názvu), který je doplňkovou optickou vrstvou, relativně zlepšující úhly pohledu. Současné displeje jsou vždy TN+F, a tak i když jsou displeje technologicky označeny jako TN, jde ve skutečnosti o TN+F matice. Za svoji popularitu vděčí TN matice především levnější výrobě a rychlosti odezvy, pro niž si je oblíbili počítačová hráči. Ovšem tato výhoda je vykoupena faktem, že TN matice zvládají fakticky pouze 18bitovou barevnou hloubku (3 × 6 bitů), pro zobrazování plně škály barev pak využívají dithering.

Současné parametry 17" TN displeje se pohybují u modelů s odezvou 6–8 ms na úrovni sví-



Odezva monitoru (pixelu)

Důležitým parametrem u LCD displeje je jeho Response Time, tedy rychlost odezvy, udávaná v milisekundách. Tento časový údaj nám říká, za jaký čas je pixel schopen ze zhasnutého stavu dosáhnout plného rozsvícení a opětovně zhasnout. Tedy přejít z černé barvy do bílé a z ní znovu do černé. Převáděno do 8bitové „řeči“ jde o sérii 0–255–0. První část 0–255 označujeme jako Rise Time (náběh, rozsvícení apod.), část 255–0 je Fall Time (zhasnutí, dosvit apod.)

Čím rychleji to monitor zvládne, tím menší je možnost, že bude docházet k degradaci obrazu – stíny za předměty při jejich pohybu apod. Tak vypadá ideální stav, nicméně v praxi to bývá s jednotlivými časy všelijaké. Pro měření se často používají hodnoty v rozmezí 10–90 % maximální hodnoty jasů. To znamená, že se nedosahuje hodnot 0–255–0, ale například 10–245–10. K tomu musíme vzít v úvahu, že

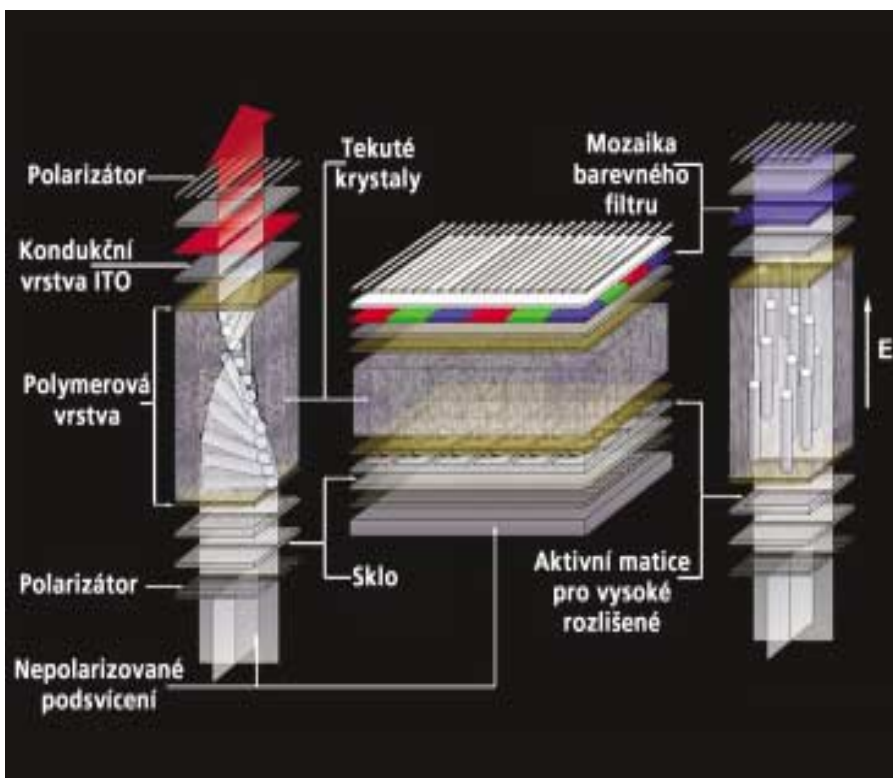
některé monitory zvládají velice rychlý přechod mezi těmito hodnotami, ale velice pomalu dosahují právě krajních specifikací. Překonání oněch 10 % pro ně tak může představovat značné navýšení času. Někdy to může znamenat například u 16ms monitoru navýšení celkového času klidně i o 8 ms, neboť celý proces není lineární. Rázem se tak pohybujeme v oblasti 20–25ms monitorů. Proto je nutné se podívat, jakým způsobem výrobce hodnot dosáhl.

Rovněž mějte na paměti, že u levnějších monitorů je čas pro rozsvícení bodu zřetelně kratší, mnohdy až 5x, než čas potřebný pro jeho zhasnutí. Stávalo se a může se stát, že výrobce jaksí „opomenul“ uvést celkový čas a v parametrech monitoru byl jako čas odezvy uveden pouze náběh (Rise Time). Monitory, které dnes nemají zřetelně uvedeno, jakým způsobem byl udávaný čas získán (metodu) nebo

alespoň o jaký čas jde (Rise, Fall, Rise+Fall, celkový apod.) raději nechte jejich prodejčům. Je to podobné, jako kdyby u auta nebyla uvedena spotřeba a použitá metodika.

Tento údaj není samospasitelný a poslouží jako dobrá orientace v případě, že chcete monitor pro hry. Navíc u kvalitních monitorů se o tolik neliší od času dosaženého pro přechod mezi odstíny. Změna 0–255–0 je totiž nejrychlejší přechod a pokud pracujete s obrazem, je pro vás důležitý i čas ve škále 10–250, která je pro videosekvence stěžejní. Pokud tedy hodláte pracovat s obrazem nebo výhradně sledovat DVD filmy, měl by vás zajímat i co nejkratší čas v oblasti tmavě šedá–světle šedá–tmavě šedá. Ve skutečnosti totiž mohou panely se shodnou odezvou černá–černá mít rozdílné vlastnosti při sledování filmu právě vlivem vyšších časů při přechodech mezi „sedou“, kdy se naplno projevuje zpoždění u dosvitu apod.

Proto je důležité LCD panely skutečně vidět „v akci“.



▲ Schéma jednotlivých vrstev LCD panelu.

Dithering

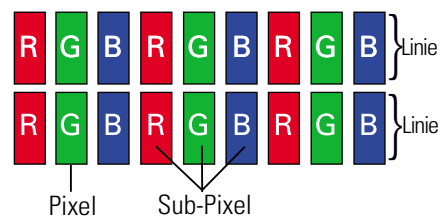
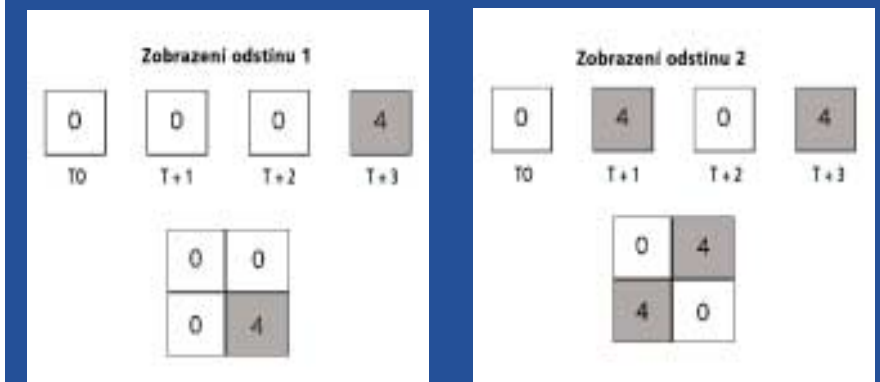
Windows pracují s barevným standardem 16,7 milionu barev, kdy je každá barva definována ve standardu RGB. To znamená, že je složena z odstínů červené, zelené a modré. Odstíny nabývají hodnot 0–255, což znamená, že dostáváme 256 odstínů červené, 256 odstínů zelené a 256 odstínů modré – tedy celkem 256 × 256 × 256 barev. Levnější displeje, jmenovitě jde o některé TN panely, však pracují pouze se 64 odstíny každé barvy, což znamená, že dokáží přímo zobrazit celkem pouze 262 144 barev.

Přesto výrobci udávají i u těchto panelů schopnost zobrazit 16 milionů barev. Opravdu tomu tak je, neboť výrobci si pomáhají malým trikem, který se nazývá dithering. Jde o technologii, kdy pro zobrazení některé bar-

vy mimo oněch 262 tisíc použijete nejbližší dvě barvy tak rychle, že vizuálně vnímáte pouze jednu.

Zatímco tedy běžné zobrazení pracuje s odstíny definovanými 0, 1, 2 až 255, dithering pracuje s odstíny 0, 4, 8, 12 až 252. Touto technologií tak nelze dosáhnout odstínů 253, 254 a 255. Výsledný počet barev zobrazený pomocí ditheringu tak činí 16,2 milionu barev (253 × 253 × 253). V případě, že potřebujete zobrazit odstín definovaný 2, k jeho dosažení použijete odstíny 0 a 4. V případě definování barvy na jednom pixelu lze použít prostřídání 0, 4, 0, 4., kdy je oko natolik zmateno, že smíchá barvy a výsledkem je 2.

Rovněž lze použít zobrazení odstínu pomocí čtverce pixelů. Pro zobrazení 1 použijeme sekvenci 0 + 0 + 0 + 4 nebo adekvátně čtverec. Podobně se postupuje i u zbývajících odstínů.



Pixel

Základní zobrazovací jednotkou monitorů je obrazový bod – pixel. Každý pixel je tvořen trojicí subpixelů, odpovídajících základnímu barevnému schématu RGB (Red-Green-Blue/červená-zelená-modrá). Rozlišení monitoru se udává právě v pixelech. Rozlišení 1 280 × 1 024 pixelů znamená, že displej má v každém z 1 024 řádků 1 280 bodů, celkem tedy 1,31 milionu pixelů (3,93 milionů subpixelů). Toto rozlišení, které odráží fyzický počet pixelů v panelu, se nazývá nativní a displej ho zobrazuje přímo. U ostatních rozlišení se výsledný obraz přepočítává.

tivosti 250–300 cd/m² a kontrastu 500 : 1. Úhly pohledu se pohybují v rozmezí 140–160°. Další běžnou hodnotou je odezva 12–16 ms, kdy tyto monitory nabídnou lepší barevné podání. Jsou vhodné pro domácí nasazení, sledování videa, hraní her a základní kancelářské využití. Z hlediska práce s barvami jsou akceptovatelné pouze pro základní amatérské použití. Pokud ovšem hodláte pořizovat monitor o velikosti 19" a větší, velice dobře si rozmyslete, zda výhoda rychlosti vyváží barevnou degradaci, která na větší ploše může být oproti 17" modelům jasně patrná.

IPS, S-IPS

Za technologií In-Plane Switching (IPS) stojí společnost Hitachi, jejíž vývoj se zaměřil na odstranění zjevných nedostatků původních TN matic – tedy barevného podání a kontrastu. První displej s touto technologií se objevil v roce 1996. Pro dosažení zmíněných cílů zvolil výrobce jiné technologické uspořádání panelu. Elektrody se u tohoto řešení nacházejí ve stejné rovině na spodní desce, molekuly tekutých krystalů jsou v základním (klidovém) stavu orientovány s těmito polarizátory souběžně. Vzhledem k tomu, že molekuly u IPS panelu jsou orientovány rozdílným způsobem než u TN matic, v případě, že dojde k poškození řídicího tranzistoru (což je vlastně to, co označujeme za vadný pixel), je tento bod vždy černý. U IPS panelů totiž molekuly v klidovém stavu (bez napětí) světlo nevedou. Teprve poté, kdy je zvýšeno napětí, se molekuly natočí až o 90% a propouštějí tak světlo různé intenzity. Díky přesnějšímu dosažení orientace molekul je možné dosáhnout lepšího podání barev a lepších úhlů pohledu. Současně nedochází k jasné degradaci barev při pohledu z větších úhlů. Ovšem na druhou stranu přináší to-

Barevná hloubka

- 1 bit = 2 barvy
- 2 bit = 4 barvy
- 3 bit = 8 barev
- 4 bit = 16 barev
- 5 bit = 32 barev
- 6 bit = 64 barev
- 7 bit = 128 barev
- 8 bit = 256 barev
- 15 bit = 32,8 tisíc barev
- 16 bit = 65,5 tisíc barev
- 24 bit = 16,7 milionu barev

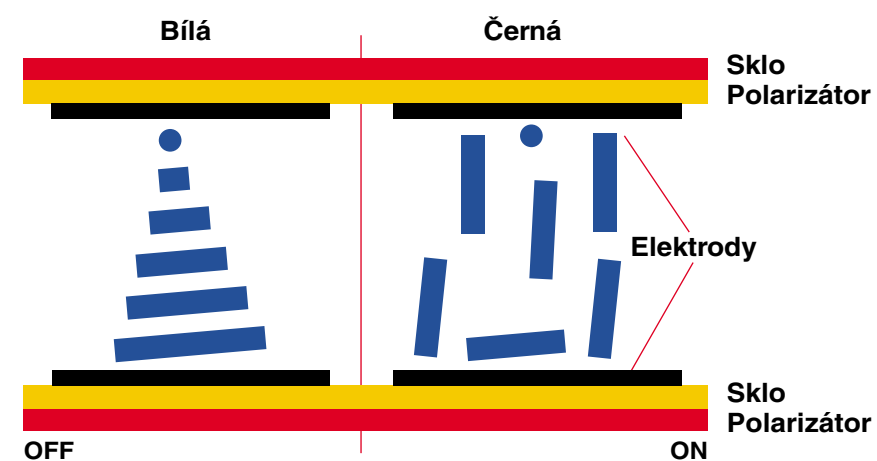
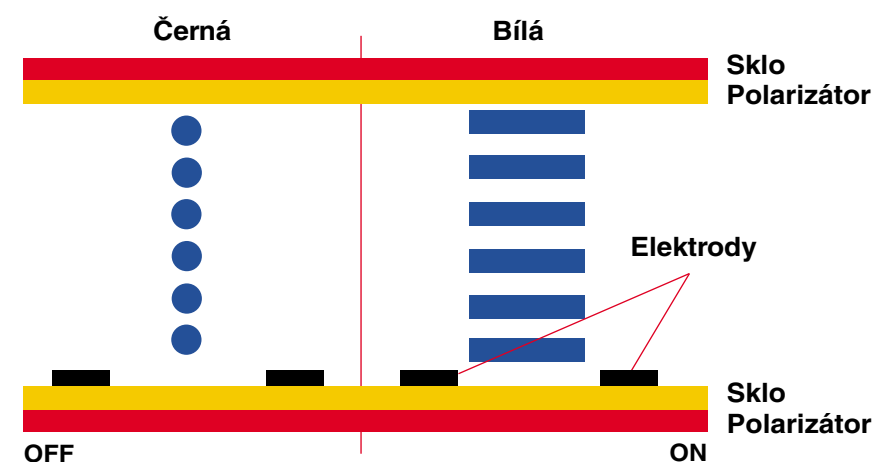
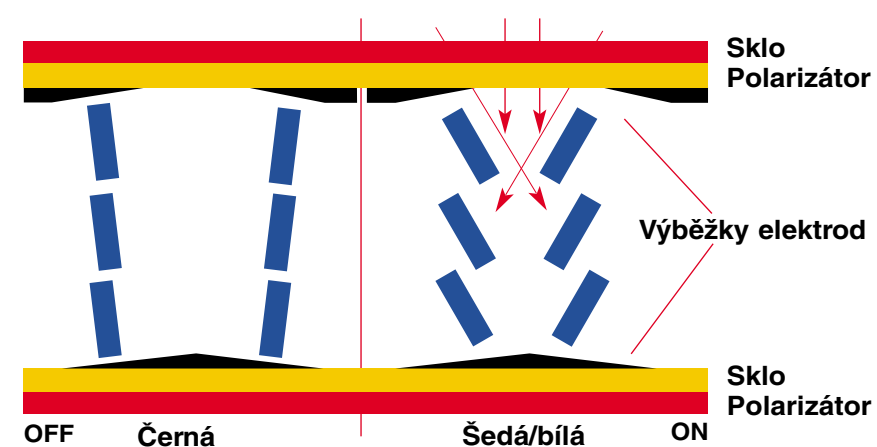
Vadné pixely

Největší strach majitelů TFT LCD monitorů jsou vadné pixely. Řada kupujících již byla při reklamaci odmítnuta s tím, že bílý bod uprostřed monitoru není důvodem pro reklamaci, nebo bohužel až při takovém nepříjemném rozhovoru zjišťuje, že svítilící červená tečka není chyba pixelu, ale subpixelu.

Chyba pixelu může mít pouze dva stavy – stále bílý nebo černý bod. Pokud vidíte na displeji trvale jinou barvu, jde o chybu RGB složky, tedy o chybu subpixelu. Vadný subpixel u monitorů s TN maticí je vždy bílý, u IPS/PVA/MVA matic je vadný pixel vždy černý. Je to dáno samozřejmě samotnou technologií. Těchto vlastností se výrobci snaží využít. Můžete se například setkat se závazky, že výrobce zaručuje, že v monitoru nebude žádný vadný světlý pixel – a u technologie IPS či VA to lze slíbit z jejich principu. A pokud na obrazovce objevíte například červenou tečku, musíte si uvědomit, že nejde o vadný pixel a že taková záruka se tedy na tento případ obvykle nevztahuje.

Problematiku vadných pixelů řeší norma ISO 13406-2, z níž záruky TFT LCD displejů vychází. Norma definuje jak parametry pro celý monitor, tak chyby v clusteru – čtverci 5 × 5 pixelů. Norma stanovuje čtyři kvalitativní třídy, přičemž displeje, se kterými se setkáte v obchodech, jsou ve třídě 2, pouze výjimečně pak ve třídě 1.

to řešení i nevýhody. Vzhledem k umístění elektrod v jedné rovině dochází u krajních krystalů k nedokonalému otočení molekul vinou slabšího elektrického pole. Výsledkem je nižší jas a kontrast IPS matic a vykreslení černé nedosáhne stoprocentního stavu. Toto řešení s menším kontrastem dává IPS panelům zřetelnou charakteristiku – při pohledu z extrémního úhlu dostává panel v černých plochách nafialovělý/namodralý nádech. Posazení elektrod rovněž technologicky může způ-



▲ Schéma orientace molekul tekutého krystalu u jednotlivých technologiích MVA. IPS a TN.

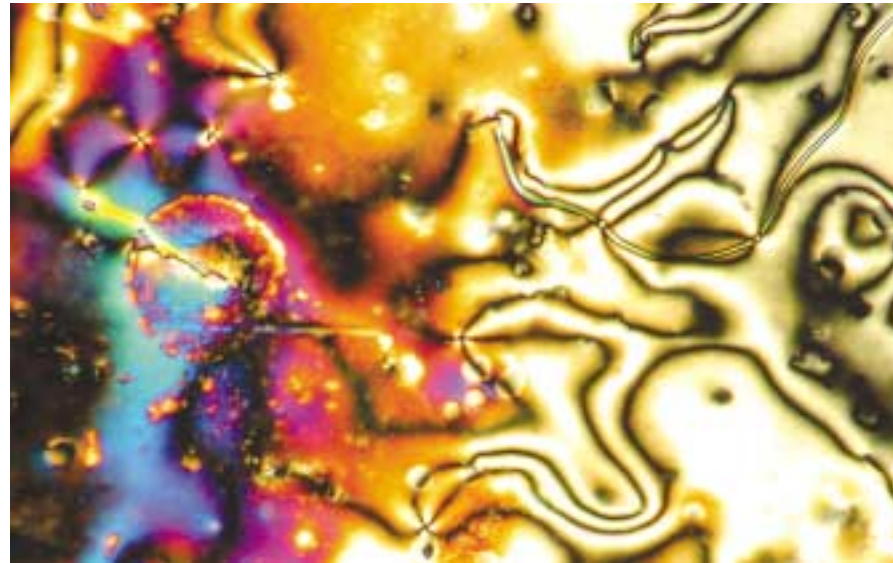
sobit subjektivně vnímané „perličkování“ displeje. Pixely jsou díky větší mezeře patrnější. Vzhledem k počátečním vysokým cenám se IPS panely začaly objevovat až u displejů o velikosti 19" a vyšší. Ovšem první IPS panely měly odezvu až 60 ms.

Technologie IPS se i proto dočkala řady vylepšení, jako Dual Domain IPS (DD-IPS), Advanced Coplanar Electrode (ACE) nebo Super-IPS (S-IPS). S první technologií od IBM ani s druhou od Samsungu se v praxi neseťkáme. Výroba ACE

byla zastavena a DD-IPS jsou díky své extrémní ceně a vysokému rozlišení vyhrazeny jiným oblastem než běžnému uživateli. Zato technologie S-IPS, za níž stojí point-venture LG Philips, si své místo vybojovala.

Můžete se setkat také se zkratkami A-AFT, A-SFT, SA-AFT a SA-SFT od NECu, což jsou v podstatě deriváty S-IPS.

Matice S-IPS přinesly zlepšení odezvy na průměrnou úroveň 20–25 ms, rychlé S-IPS mají ode-



▲ 200× zvětšená struktura tekutých krystalů použitých v displejích.

zvu 16 ms. Doménou S-IPS panelů jsou 19" monitory a vyšší, které nabídnou vynikající podání barev. Kontrast těchto panelů dosahuje hodnot 450–600 : 1, jejich svítivost se pohybuje mezi 250 a 300 cd/m² a úhly pohledu jsou 160°.

VA, MVA, PVA

Poslední technologické řešení je postaveno na myšlence orientovat molekuly vertikálně, proto se označuje VA (Vertical Alignment). Tuto technologii představila v roce 1996 společnost Fujitsu. Cí-

lem řešení bylo dosažení vysokého kontrastu a krátké odezvy díky tomu, že se molekuly otáčely pouze o 45°. I když se cíle podařilo dosáhnout, byla tato technologie, respektive světlost bodu příliš závislá na velikosti úhlu pohledu i straně, ze které se na displej uživatel díval. Při natočení podlouhlé molekuly docházelo k posunutí molekuly mimo zorné pole uživatele, neboť v podstatě viděl pouze část molekuly. Proto v roce 1998 Fujitsu přišlo s vylepšením původní VA matice a uvedlo na trh technologii MVA (Multi-Domain Vertical Align-

ment). Molekuly jsou nyní rozděleny do domén, ve kterých jsou orientovány prostorově tak, aby došlo k optické kompenzaci. Pokud část molekuly není ve své doméně viditelná, je opticky kompenzována molekulou z druhé domény, neboť ta je orientována opačně a je z ní vidět ze stejného úhlu pohledu právě ona „neviditelná“ část „původní“ molekuly. Počet domén není u moderních displejů omezen pouze na dvě. Technologii MVA používá k výrobě panelů rovněž společnost Samsung pod označením PVA (Patterned Vertical Alignment), Sharp ji označuje jako ASV, setkat se můžete i s pojmem Super MVA. První panely s dobou odezvy 33–40 ms a 20–25 ms jsou v současnosti doplněny nabídkou rychlých 8–16ms modelů. Jejich svítivost se v průměru pohybuje na úrovni 250–300 cd/m² a kontrastní poměr činí 400–600 : 1. Úhly pohledu jsou 170°. MVA/PVA dominují vynikajícím podáním černé, kontrastem a úhly pohledu. Rovněž nabízejí lepší podání barev než TN displeje za srovnatelných časů odezvy.

Závěr

V mnoha testech monitorů, často i na našich stránkách, se můžete setkat s hodnocením: „univerzální monitor“. Skutečnost je však taková, že univerzální monitor je něco jako běžný prací prášek z reklam. Obvykle tak označujeme monitor vhodný pro domácí použití – lze na něm pracovat s textem a samozřejmě hrát nějaké hry. Neznamená to však, že takový monitor je vynikající v obou tak různorodých oblastech jako je DTP a hraní například Half-Life 2. Doufáme, že jsme vám v předcházejících odstavcích pomohli se v problematice TFT displejů částečně zorientovat. Vynechali jsme sice technologie pro zlepšení obrazu jako je Override, nevěnovali jsme se X-Brightu, úhlům pohledu, různým skleněným panelům, frekvencím, jednotlivým vstupům, práci řídicí elektroniky apod. Podle našeho názoru nejsou tyto oblasti pro základní seznámení s oblastí TFT LCD stěžejní.

Zjednodušené (zobecňující) shrnutí

Dnešní TFT matrice můžeme rozdělit podle technologie na matrice TN, IPS a xVA.

Matrice TN nabídnou rychlou odezvu, ovšem s kontrastem, podáním barev i úhly pohledu jsou na tom špatně. Celkově nabízejí poměrně tmavý obraz. Jsou vhodné pro hry a základní kancelářskou práci (úkoly do školy).

Základní matrice IPS nabízejí malý kontrastní poměr (jsou na úrovni TN). Disponují ovšem dobrými úhly pohledu a vynikajícím barevným podáním. Čas odezvy je všeobecně na úrovni prvních TN panelů. S příchodem S-IPS se zlepšil kontrastní poměr, vykreslení černé a mírně i odezva. Ideální pro práci s grafikou.

Matrice MVA/PVA mají vysoký kontrastní poměr a úhly pohledu, ovšem horší čas odezvy.

Kvalita monitorů s MVA/PVA matricemi se u jednotlivých výrobců značně liší. Jsou vhodné pro aplikace využívající čar (CAD – drátěné modely), excelují při práci s textem.

5 0356/VAC □

Výběr z normy ISO 13406-2

Počet vadných pixelů na jeden milion pixelů			
Třída	typ 1 (stabilně bílý pixel)	typ 2 (stabilně černý pixel)	typ 3 (zelený, červený nebo modrý subpixel)
I	0	0	0
II	2	2	5
III	5	15	50
IV	50	150	500

Počet vadných pixelů v klastru na jeden milion pixelů

Třída	Typ 1 a 2	Typ 3
I	0	0
II	0	2
III	0	5
IV	5	50

Třída II – tolerované počty vadných pixelů a subpixelů pro nativní rozlišení

Celkový počet vadných pixelů pro nativní rozlišení při povolených 2 chybných pixelech na milion pixelů

Nativní rozlišení	počet pixelů	Mpx	Celkový počet vadných pixelů
1 024 × 768	786 432	0,79	2
1 280 × 1 024	1 310 720	1,31	3
1 600 × 1 200	1 920 000	1,92	4
2 048 × 1 536	3 145 728	3,15	6

Celkový počet vadných subpixelů při povolených 5 subpixelech na milion pixelů

1 024 × 768	786 432	0,79	4
1 280 × 1 024	1 310 720	1,31	7
1 600 × 1 200	1 920 000	1,92	10
2 048 × 1 536	3 145 728	3,15	16

Celkový počet vadných subpixelů v clusteru 5 × 5 pixelů při povolených 2 chybných subpixelech v clusteru

1 024 × 768	786 432	0,79	2
1 280 × 1 024	1 310 720	1,31	3
1 600 × 1 200	1 920 000	1,92	4
2 048 × 1 536	3 145 728	3,15	6