

Zobrazovací jednotky počítačů - monitory

Studijní materiál pro předmět Architektury počítačů

Ing. Petr Olivka
katedra informatiky FEI VŠB-TU Ostrava
email: petr.olivka@vsb.cz

Ostrava, 2011

1 Zobrazovací jednotky počítačů - monitory

Monitory a displeje tvoří nejdůležitější rozhraní mezi uživatelem a počítačem pro zobrazování textových a grafických informací. Jejich vlastnosti jsou jedním z hlavních faktorů, který určuje ergonomii práce na počítači (současně se správným sezením na kvalitní židli).

Vývoj zobrazovacích jednotek počítačů, TV, mobilních zařízení a telefonů zaznamenal v posledním desetiletí značný pokrok a na trhu si vydobylo pevnou pozici několik různých technologií. Na ty nejpoužívanější se zaměříme v tomto textu.

1.1 Typy monitorů

- CRT
- LCD
- Plazmové
- OLED
- E-Ink

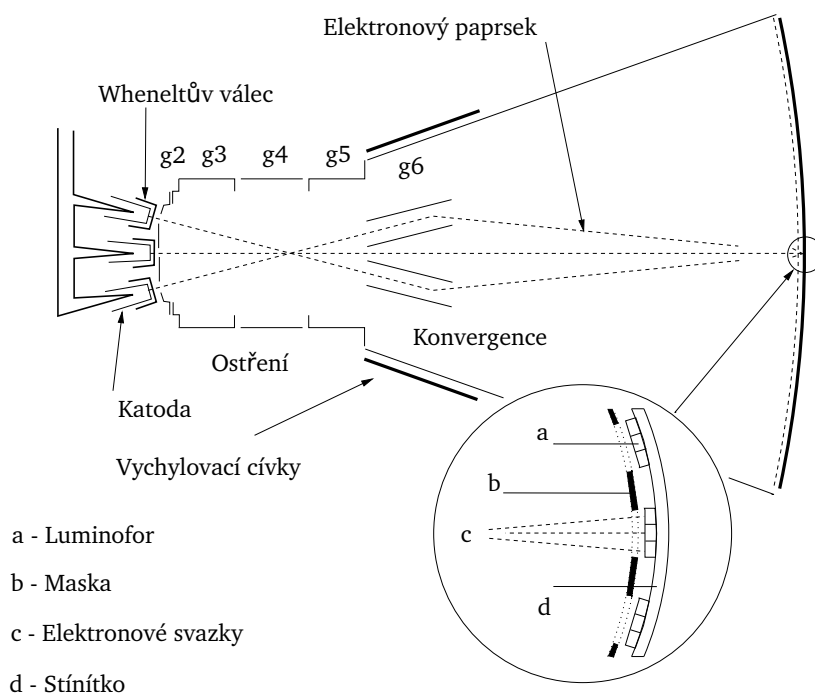
2 Monitory CRT

2.1 Princip CRT displeje

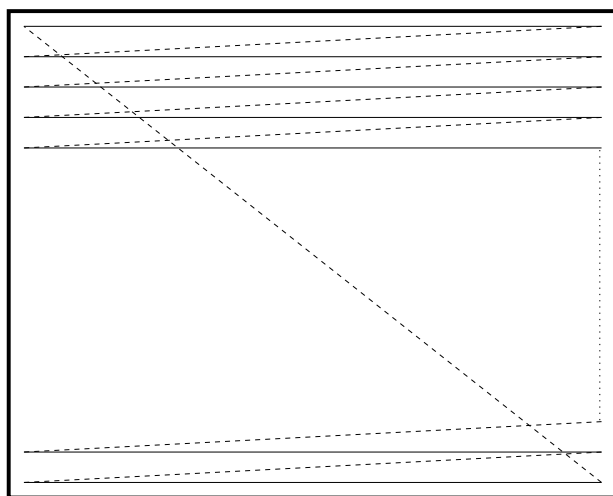
CRT obrazovka je vzduchoprázdňá skleněná baňka, jejíž přední část tvoří stínítko potažené luminiscenční látkou (luminoforem). Abychom pochopili princip a funkci monitoru, musíme si vysvětlit jakým způsobem obraz vzniká, viz obrázek 1. Tvorba obrazu začíná v grafické kartě počítače. Digitální signály z operačního systému nebo aplikačního software jsou přijímány adaptérem VGA. Tento signál je digitální a je třeba ho nejprve převést na signál analogový prostřednictvím digitálně–analogového převodníku (DAC – Digital to Analog Converter), kterému monitor dokáže porozumět. Obvody DAC jsou většinou uloženy na jednom specializovaném čipu, který ve skutečnosti obsahuje převodníky tři – pro každou ze tří základních barev používaných na displeji (RGB).

Obvody DAC převádějí číselné hodnoty zasílané počítačem na analogové tabulky, které obsahují potřebné úrovně napětí pro tři základní barvy. Tyto barvy jsou nutné k namíchání barvy jednoho bodu.

Celý proces začíná u elektronového děla, které je koncem každé katodové trubice. Jednotlivé elektronové svazky jsou emitovány z nepřímo zha-



Obrázek 1: CRT displej



Obrázek 2: Princip řádkování

vené katody, která má na svém povrchu nanesenu emisní vrstvu. To po zahřátí vystřeluje vysokou rychlostí proudy elektronů pro jednu ze tří základních barev, jejichž základní fyzikální vlastností je záporný náboj. Právě tato vlastnost je využívána ke správnému nasměrování částic. Elektrony cestou k obrazovce projdou filtrem, který má podobu mřížky. Filtř propustí pouze požadované množství elektronů a tak řídí jejich intenzitu.

Elektronové svazky pak procházejí tzv. Wheneltovým válcem, který má vzhledem ke katodě záporný potenciál. Anoda s vysokým napětím je umístěna na horním okraji trubice. Kladně nabitá anoda neustále vytahuje elektrony z elektronového děla. Tyto elektrony se ale díky magnetickému poli vychylovacích cívek, které je odklání směrem k fosforům na přední straně trubice, k ní nikdy nedostanou.

To způsobuje, že elektrony jsou jím odpuzovány a projde jich přes něj jen požadované kvantum. Řízením napětí na Wheneltově válci se tedy řídí intenzita jednotlivých elektronových svazků. Po průchodu Wheneltovým válcem procházejí elektronové svazky přes jednotlivé mřížky $g_2 - g_6$, které mají naopak vzhledem ke katodě kladný potenciál, díky kterému jsou elektrony přitahovány. Tento kladný potenciál je na mřížce g_2 nejnižší, na g_3 vyšší a až na g_6 nejvyšší. Toto má za úkol elektronové svazky táhnout až na stínítko obrazovky. Speciální funkci zde má mřížka g_3 (ostření), která má za úkol zaostřovat elektronové svazky a mřížka g_6 (konvergence), od které se elektronové svazky postupně sbíhají. K jejich setkání dojde u masky obrazovky, kde se překříží a dopadnou na své luminofory.

Elektronové svazky procházejí kolem vychylovacích cívek. Toto vychylo-

vací zařízení ohýbá paprsek ve vertikálním a horizontálním směru a tím jej směřuje k určenému bodu na obrazovce. Paprsek elektronů začne v levém horním rohu obrazovky, postupně dojde na pravý horní roh, vypne se na dobu po kterou elektronové dělo mění zacílení elektronových paprsků, sníží se o jeden řádek a opět pokračuje zleva doprava. Tento proces se označuje termínem *rastrování* nebo *řádkování* (obrázek 2).

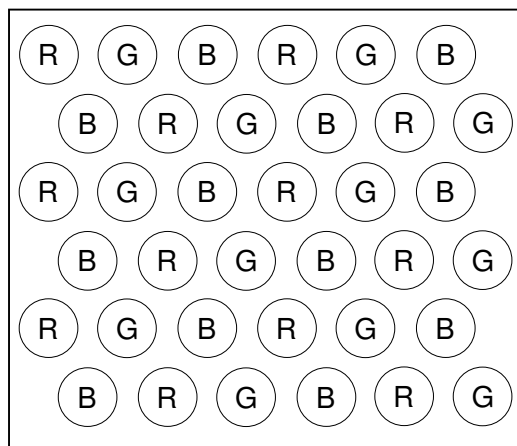
Jakmile paprsek projde celou obrazovku, magnetické vychylovací cívky plynule změní úhel, pod kterým se elektronový paprsek ohýbá tak, že postupně putuje z pravého dolního rohu do levého horního rohu a začne další obnovovací cyklus. Celou cestu paprsku přes obrazovku označujeme termínem *pole*. Obrazovka se normálně obnovuje *refresh* asi 60 krát za sekundu. Signály zasílané do vychylovací cívky určují rozlišení monitoru, počet barevných bodů svíse a vodorovně a obnovovací frekvenci.

Jelikož záporné elektrony mají tendenci se navzájem odpuzovat, což může vést k rozostření vysílaného svazku, je těsně před stínítkem umístěna maska, která tento nedostatek odstraní. Jedná se o kovový plát, v němž jsou prostřednictvím kyseliny vypáleny drobné dírký, kterými paprsek prochází. Stínítko se během této operace zahřívá a následně roztahuje, takže paprsky se hůře umísťují do správného otvoru. Z tohoto důvodu musí být maska vyrobena z materiálu, který co nejméně podléhá tepelné roztažnosti a působení magnetického pole. Tyto dva jevy by totiž způsobily, že elektronové svazky nedopadnou přesně na svůj luminofor, což by se projevilo zkreslením barev.

Aby se docílilo větší přesnosti svazku a lepšího zaostření paprsků, je maska mírně zakulacená, což také umožňuje předvídat a korigovat pohyb při roztahování. Masku následně propustí pouze tu část svazku, která je zaostřená přesně. Toto zakulacení masky je důvodem zakulacení skla překrývající tuto masku. Tímto způsobem dochází k rozsvícení jednoho bodu obrazovky. Kombinací intenzity jednotlivých barevných složek bodu je pak dosaženo zobrazení určené barvy.

2.2 Invar

Jednotlivé otvory v masce jsou kruhové a jsou uspořádány do trojúhelníků (velké písmeno delta). Stejným způsobem jsou uspořádány i luminofory na stínítku (viz obrázek 3). Nevýhodou tohoto typu masky (obrazovky) je velká plocha, která je tvořena kovem masky způsobující větší náchylnost k tepelné roztažnosti. Invarová maska je vlastně část kulové výseče. První invarové masky byly dosti vypouklé, ovšem postupně se klenutí dařilo zmenšovat. Přesto je i u nejmodernějších invarových masek toto klenutí nepřehlédnutelné. Díky tomuto poskytovaly obrazovky typu Delta poměrně nekvalitní obraz.



Obrázek 3: Maska Invarové obrazovky

2.3 Trinitron

Alternativní řešení technologie Invar představila firma Sony. Kovový plát masky je zaměněn za konstrukci pevně natažených drátků umístěných v horizontálním směru obrazovky (viz obrázek 4). Tímto způsobem k fosforu proniká více elektronů, takže jednotlivé body září silněji. K přesnému upevnění drátků je třeba použít další dva vertikální drátky ve třetině obrazovky, které udržují mřížku na místě. Výška obrazovky je menší než její šířka, a proto zde není třeba tolik působit magnetickým polem na vychýlení paprsků. Proto nedochází k přílišnému zkreslení paprsku ve vertikálním směru a horizontální zkreslení upravují drátky. Z toho důvodu není nutné zakřivovat obrazovku na výšku. Obrazovka působí válcovým dojmem s výsečí válce o poloměru 2 m.

Stejně jako předcházející technologie má své výhody i nevýhody. Výhodou Trinitronových obrazovek je ostrost a kontrastnost v rozích, kde delta vykazuje výrazné zhoršení ostrosti. Nevýhodou je náchylnost k interferencím elektromagnetického pole.

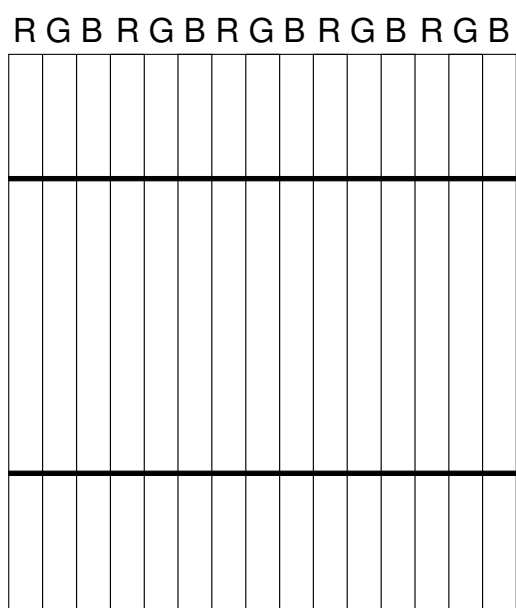
2.4 Parametry CRT monitorů

Úhlopříčka, rozlišení, horizontální frekvence, vertikální frekvence, šířka pásma, bodová rozteč, obnovovací frekvence.

2.5 Výhody a nevýhody CRT displejů

Výhody

Ostrost, zobrazení věrohodných barev, doba odezvy, pozorovací úhly.



Obrázek 4: Maska Trinitronové obrazovky

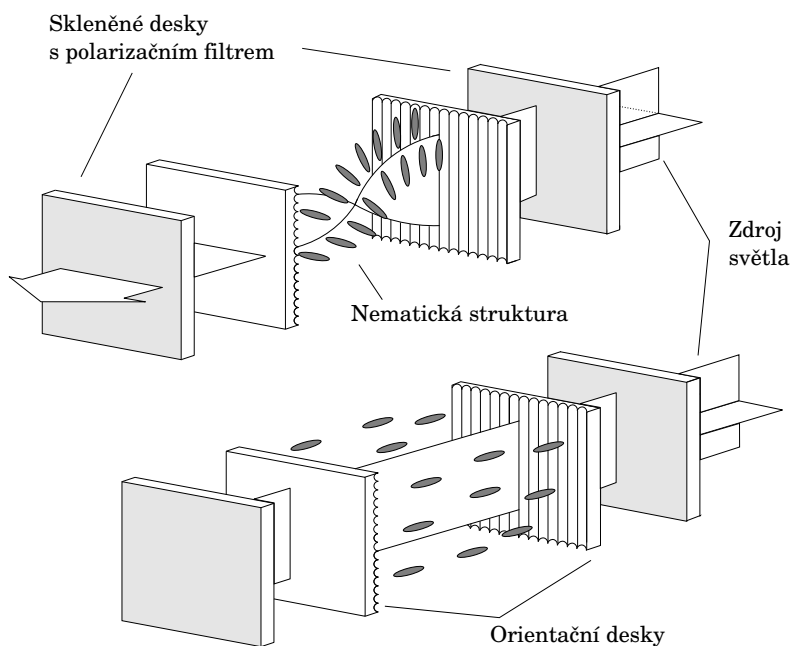
Nevýhody

Velikost, spotřeba, vyzařování.

3 Monitory LCD

3.1 Princip LCD displeje

Jak už zkratka LCD (Liquid Crystal Display) říká, budou hlavním aktivním prvkem těchto displejů tekuté krystaly. Tyto jsou ale jen jednou z několika vrstev, kterými je LCD tvořen. Složení LCD a princip činnosti je znázorněn na obrázku 5.



Obrázek 5: Princip činnosti LCD displeje

Jádrum LCD je TN (twisted nematic) struktura, která je z obou stran obklopena polarizačními vrstvami orientovanými stejně jako jsou natočeny drážkované orientační desky.

Nepolarizované světlo projde prvním polarizačním sklem a polarizuje se. Poté prochází vrstvami pootočených tekutých krystalů, které světlo otočí o 90° a to projde i druhým polarizačním sklem, které je otočeno o 90° proti prvnímu.

Takto se TN-LCD chová v klidovém stavu bez přivedeného napětí - propouští světlo. Jakmile začne tekutými krystaly protékat slabý elektrický proud, krystalická struktura se začne orientovat podle směru toku proudu. Všechna zrnka se tedy stočí jedním směrem a přestane docházet k otáčení světla. První polarizační vrstva tedy světlo polarizuje, skrz krystaly projdou

paprsky nezměněny a druhá polarizační vrstva světlo definitivně zablokuje, neboť jeho polarita je o 90° odlišná.

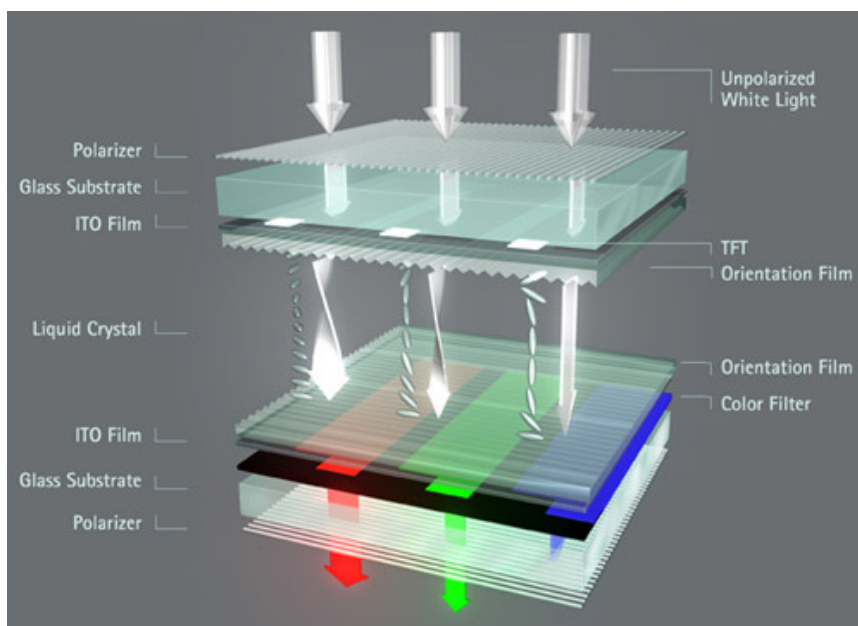
Světlo procházející vrstvou tekutého krystalu tedy může řízeným způsobem otáčet svou polarizaci. Intenzitou řídicího střídavého proudu pak navíc můžeme určit intenzitu propuštěného světla.

Vrstva tekutých krystalů je rozdělena na malé buňky stejné velikosti, které tvoří jednotlivé body displeje.

Jak z nákresu 5 vyplývá, aby byl obraz na displeji viditelný, musí být LCD podsvětlen. Zdrojem musí být bílé světlo. Nejčastěji se pro podsvětlení používají elektroluminiscenční výbojky. Ty jsou v dnešní době postupně nahrazovány bílými LED.

3.2 Barevné LCD

Konstrukce barevných displejů je téměř stejná jako u jednobarevných. Zná-zorněna je na obrázku 6. Každý bod displeje se skládá ze tří menších bodů, které obsahují červený, zelený a modrý filtr umístěné na horní skleněné destičce vedle sebe. Barevný displej je vždy podsvícen. Propouštěním světla do barevných filtrů a jeho složením dostaneme výslednou barvu.



Obrázek 6: Princip činnosti barevného LCD displeje

3.3 Pasivní displeje

LCD monitory s pasivní maticí mají mřížku vodičů s body nacházejícími se na každém průsečíku v mřížce (viz obrázek 7). Proud protéká dvěma vodiči v mřížce, aby aktivoval světlo pro každý bod. Když elektrický impuls projde jedním řádkem a jestliže je určitý sloupec uzemněný, vznikne elektrické pole, které změní stav kapalného krystalu (z bílého bodu na černý). Opakováním tohoto procesu vznikne na monitoru obraz.

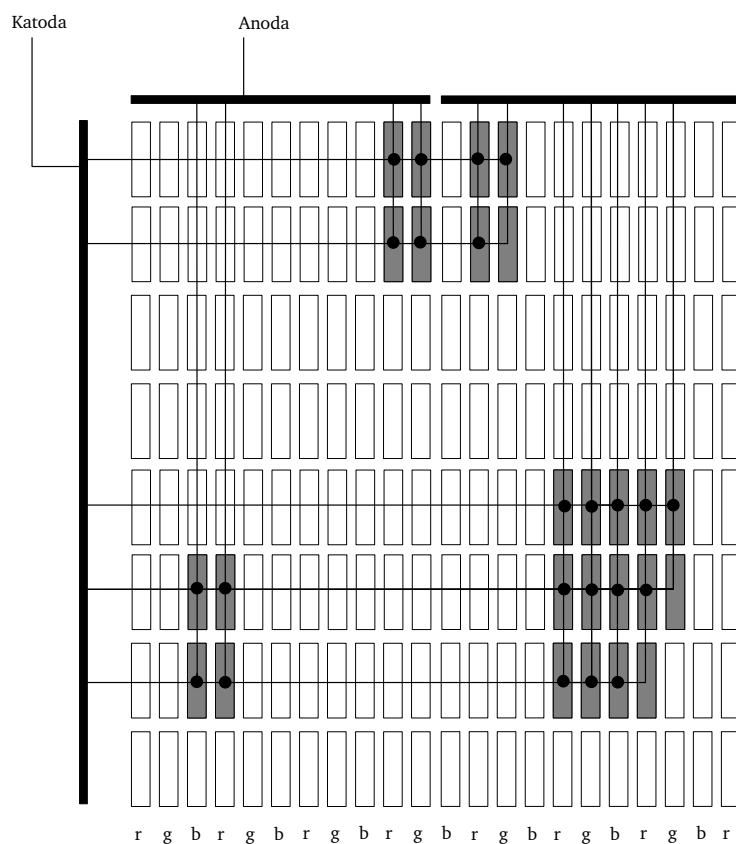
Problémy vznikají při nárůstu počtu řádků a sloupců, protože s vyšší hustotou bodů musí být velikost elektrody redukována a velikost napětí nutně narůstá. Toto se projevuje nepříliš ostrým obrazem, kdy se z jediného rozsvíceného bodu rozbíhají postupně slábnoucí horizontální a vertikální čárky, které přesně ukazují, jakým způsobem je zaměřen konkrétní bod. Vybraný bod je aktivní (černý), ale okolí je rovněž částečně aktivní (šedé). Částečně aktivní body snižují kontrast a kvalitu obrazu na monitoru. Není zároveň možné dosáhnout příliš vysoké rychlosti. Doba odezvy, tedy reakčního času pixelu na změnu podle dat dodaných z grafické karty, se často pohybuje v rozmezí 150 až 250 ms, odpovídá přibližně 3 snímkům za sekundu. Toto se projevuje viditelnou stopou za kurzorem myši, nebo zmizením kurzoru při rychlém pohybu myši při použití rychlé grafiky.

3.4 Aktivní displeje

LCD monitory s aktivní maticí byly vyvinuty, aby eliminovaly problémy monitorů s pasivní maticí. Jsou známé jako TFT displeje (TFT – Thin Film Transistor), viz obrázek 8. První TFT byly vyrobeny roku 1972 z CdSe – Cadmium Selenide, ale při investicích do solárních panelů se přešlo na amorfnní křemík (a-Si) a později na polykrystalický křemík (p-Si).

Maticové zobrazovače mají tranzistor nebo diodu na každém průsečíku bodů, takže potřebují méně proudu na ovládání svítivosti bodů. Díky tomu může být proud v maticovém zobrazovači vypínaný a zapínaný mnohem častěji. Tím se zvýší obnovovací frekvence obrazovky (RF – Refresh Rate), tj. frekvence s jakou se obnovuje obraz na obrazovce. Pomocí regulační funkce tranzistoru, případně ve spolupráci s kondenzátorem, je možné velmi přesně regulovat proud procházející pixelem a svítivost daného bodu.

TF tranzistory kompletně izolují jeden bod od ostatních v displeji a eliminují tak problémy vznikající při částečně aktivních bodech. Jeden bod představuje nejmenší zobrazitelnou jednotku na obrazovce, což však platí v případě mono displejů. U barevných monitorů jeden pixel tvoří 3 další sub - pixely (RGB). Tyto body jsou uspořádány horizontálně vedle sebe. V případě nativního rozlišení displeje 1600 x 1200 je vedle sebe ve skutečnosti 4800 sub - pixelů. Šířka těchto bodů musí být samozřejmě velice malá a pohybuje se standardně v rozmezí cca 0,24 – 0,29 mm.



Obrázek 7: Struktura pasivního displeje

3.5 Parametry LCD monitorů

Úhel pohledu, doba odezvy, kontrast.

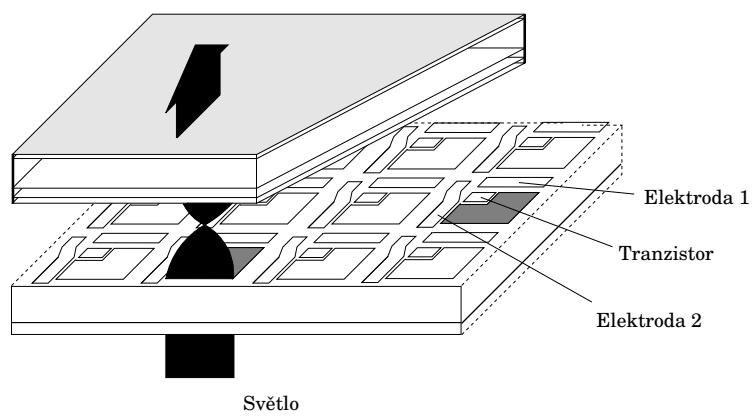
3.6 Výhody a nevýhody LCD displejů

Výhody

Kvalita obrazu, životnost LCD displeje, spotřeba energie, odrazivost a oslnivost, bez emisí.

Nevýhody

Citlivost na teplotu, pevné rozlišení, vadné pixely, doba odezvy.



Obrázek 8: Struktura TFT displeje

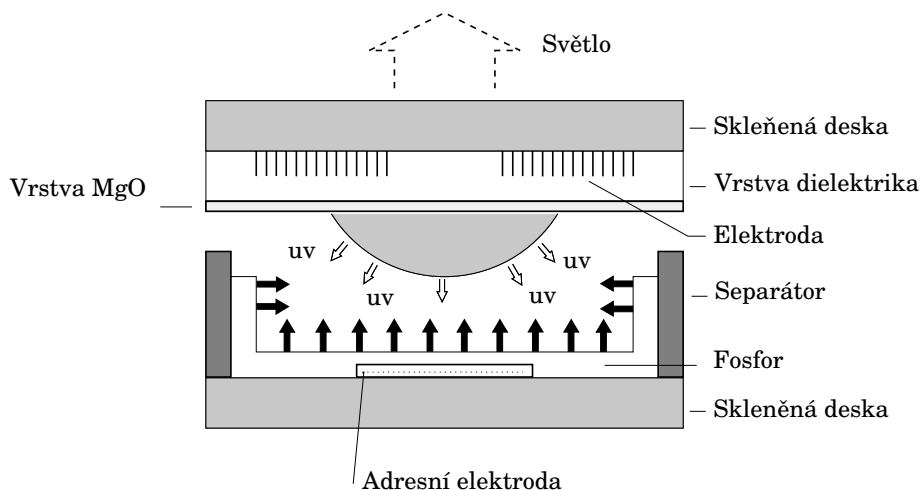
4 Monitory plazmové

Plazma je skupenstvím složeným z iontů a elementárních částic. Protože plazma není plynem, kapalinou ani pevnou látkou, nazývá se někdy čtvrtým skupenstvím.

4.1 Princip plazma displeje

Na obrázku 9 je zjednodušené schéma buňky v PDP. Jde jen o jednu třetinu bodů, které vyzařují jednu barevnou složku.

V klidovém stavu se v plazma displejích nachází směs vzácných plynů (argon – neon – xenon). Jelikož to jsou elektro-neutrální atomy, musíme najít způsob, jak z nich vytvořit plazmu. Ta se vytváří zavedením elektrického proudu do plynu, čímž se objeví mnoho volných elektronů. Srážky mezi elektrony a částicemi plynu vyvolají ztrátu elektronů některých atomů a vznikají kladně nabitě ionty. Spolu s elektrony tedy získáváme plazmu.



Obrázek 9: Princip činnosti jedné buňky plazma displeje

Jednotlivé nabité částice se vlivem vytvořeného elektrického pole začnou pohybovat ke svým opačným pólům. Ionty plynů k záporně a elektrony ke kladně nabitému pólu. V plazmě tímto způsobem dochází k velkým pohybům a ve vzniklém "zmatku" se začnou jednotlivé částice srážet.

Při nárazu volného elektronu do jednoho z elektronů iontu na nižším orbitalu získá tato částice energii, která jí dovolí na krátký čas přejít na vyšší energetickou hladinu, ale hned poté ho elektromagnetické síly donutí k návratu na původní hladinu a přebytečná energie je uvolněna ve formě fotonu.

Celý plazma displej je tvořen maticí miniaturních fluorescentních buněk (bodů) ovládaných sítí elektrod. Horizontální řádky tvoří adresovací elektrody, vertikální sloupce zobrazovací (výbojové) elektrody. Vzniká tak mřížka, ve které lze každou buňku adresovat zvlášť. Buňky jsou uzavřeny mezi dvěma tenkými skleněnými tabulkami, každá obsahuje malý kondenzátor a tři elektrody. Adresovací elektroda je umístěna na zadní stěně buňky, dvě transparentní zobrazovací elektrody na přední stěně. Tyto dvě elektrody jsou izolovány dielektrikem a chráněny vrstvou oxidu hořečnatého (MgO). Všechny pixely se u barevných plazma displejů skládají ze tří barevných sub-pixelů, z červeného, zeleného a modrého.

Do obou zobrazovacích elektrod je pouštěno střídavé napětí. Po zavedení napětí je indukován výboj, který začne ionizovat plyn a vytvářet plazmu. Dielektrikum a oxid hořečnatý sice výboj zastaví, ale po změně polaritý střídavého proudu ionizace pokračuje a tím je dosaženo stálého výboje. Napětí na elektrodách je udržováno těsně pod hladinou, vzniku plazmy a k ionizaci dojde i při velmi nízkém zvýšení napětí na adresovací elektrodě.

Po vzniku plazmy získají nabití částice díky elektrickému poli kinetickou energii a začnou do sebe narážet. Neon a xenon jsou přivedeny do excitovaného stavu a po návratu elektronu do své hladiny uvolní ultrafialové záření. Díky tomuto záření pak excitují atomy luminoforu a ty uvolní viditelné světlo. V každém pixelu jsou tři různé barevné luminofory, jejichž kombinací vzniká výsledná barva.

K dosažení co největší škály zobrazovaných barev a úrovní intenzity musí být buňky ovládány zvlášť. Ovládaní intenzity funguje na principu modulace pulsního kódu (PWM – Pulse Wide Modulation). Tato modulace slouží k převedení analogového signálu s nekonečným rozsahem na binární slovo s pevně danou délkou, proto jsou plazma obrazovky plně digitální. Intenzita každého sub-pixelu je určována počtem a šířkou napěťových pulsů, které dostává buňka během každého snímku. Toho je dosaženo rozdělením trvání každého snímku na několik kratších částí (pod snímky).

Během této periody jsou pixely, které mají svítit, nabuzeny pomocí zobrazovacích elektrod na určité napětí. Během zobrazovací fáze je pak napětí aplikováno pomocí adresovacích elektrod na celý displej. Tím se rozsvítí pouze jen nabuzené sub-pixely s danou úrovní nabití.

4.2 Výhody a nevýhody PDP

Výhody

Kvalitní a kontrastní obraz, není nutné podsvícení, velké pozorovací úhly, minimální hloubka a hmotnost.

Nevýhody

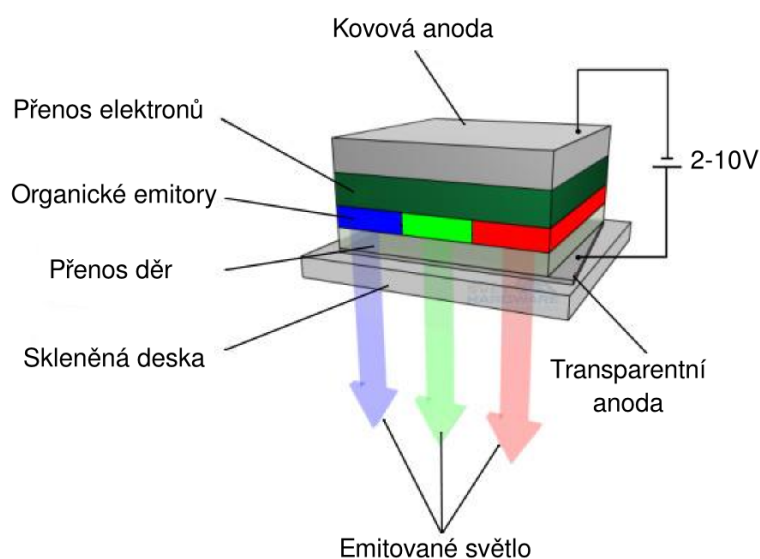
Paměťový efekt, levnější plazma displeje mají problémy s kontrastem, cena, vyšší energetická náročnost.

5 OLED

Zkratka OLED bývá interpretována dvěma způsoby - „Organic Light Emmiting Diode“ a „Organic Light Emmiting Display“. Pokud hovoříme o použité technologii, pak je první výklad vhodnější. Hlavním prvkem těchto zobrazovacích jednotek je organická dioda emitující světlo.

5.1 Princip činnosti OLED

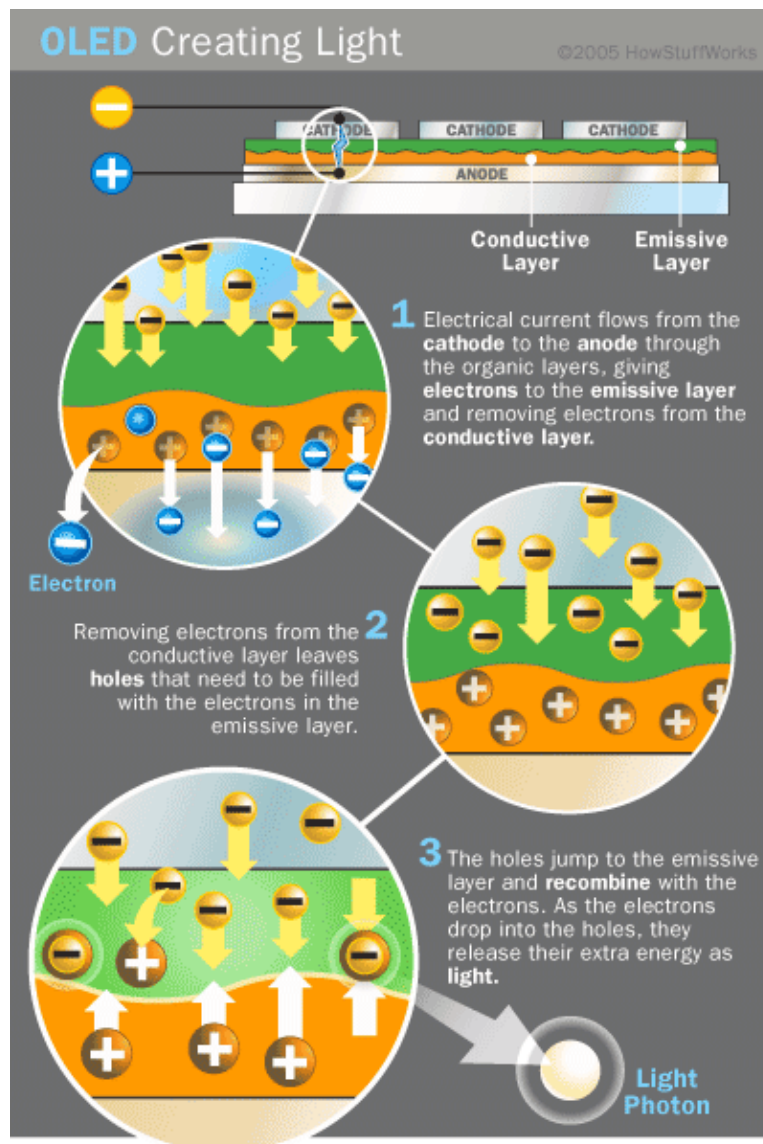
Zjednodušenou strukturu OLED displeje můžeme znázornit obrázkem 10.



Obrázek 10: Základní struktura OLED displeje

Na kovovou katodu jsou nanášeny další vrstvy. Nejprve vodivá vrstva pro elektrony. Dále pak samotná organická světlo emitující vrstva, za kterou následuje vrstva pro přenos děr a průhledná anoda. Poslední skleněná vrstva je již jen ochranná.

Po přivedení napětí na obě elektrody se začnou elektrony hromadit na straně organické vrstvy blíže k anodě. Díry, představující kladné částice, se hromadí na opačné straně blíže ke katodě. V organické vrstvě začne docházet ke „srážkám“ mezi elektrony a dírami a jejich vzájemné eliminaci, doprovázené vyzářením energie ve formě fotonu. Tomuto jevu říkáme **rekombinace**. Popsaný princip činnosti je názorně v několika krocích uveden na obrázku 11



Obrázek 11: Princip činnosti OLED

5.2 AMOLED a PMOLED

AMOLED a PMOLED znamená Active/Passive Matrix OLED. Jde o stejný princip jako aktivní a pasivní LCD displeje. Body displeje jsou organizovány do pravoúhlé matice. Každá OLED je aktivována u pasivních displejů dvěma na sebe kolmými elektrodami, procházejícími celou šířkou a výškou displeje. A u aktivních displejů je každá OLED aktivována vlastním tranzistorem.

5.3 Vlastnosti OLED, výhody, nevýhody

OLED displeje jsou samy o sobě zdrojem světla a nepotřebují podsvětlení. Díky tomu dosahují vysokého kontrastu a jsou energeticky méně náročné, než LCD. Výkon OLED dosahuje 20-30 lm/W (obyčejná žárovka 10-15 lm/W), vyjíměčně až 50 lm/W u bílých OLED.

Výhody

Vysoký kontrast, velmi tenké, plně barevné, nízká spotřeba, dobrý pozorovací úhel, prakticky bez zpoždění, snadná výroba, možnost instalace na pružný podklad.

Nevýhody

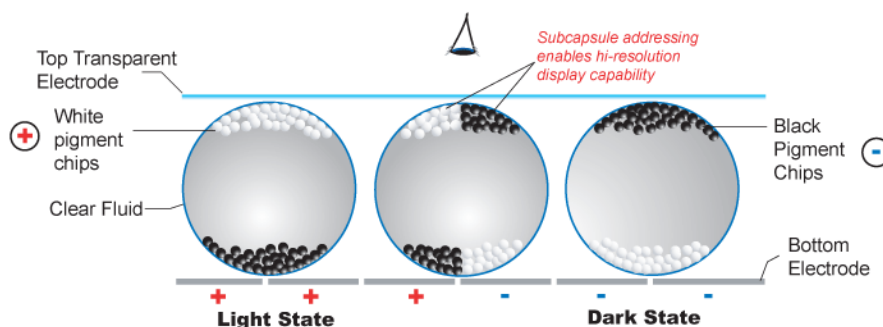
Nevýhody nejsou. V současnosti (2011) jen výroba malých displejů a malé rozšíření.

6 E-Ink

Pro zařízení, která k zobrazení statické informace nepotřebují elektrický proud se používá označení EPD - Electronic Paper Device, tedy elektronický papír. Jako jedna z nejznámějších technologií používaných pro tato zařízení je elektronický inkoust - E-Ink.

6.1 Popis technologie E-Ink

Pro vysvětlení principu činnosti je vhodné si nejprve ukázat, s čím tato technologie pracuje a jaké je celkové složení. Znázorněno je na obrázku 12.



Obrázek 12: Technologie elektronického inkoustu E-Ink

Jednotlivé body jsou tvořeny malými uzavřenými kapslemi o velikosti desítek či stovek μm . Tyto kapsle obsahují elektroforetický (zjednodušeně řečeno elektricky separovatelný) roztok. V tomto průsvitném roztoku jsou obsaženy záporně nabitě černé částice (inkoust) a kladně nabitě bílé částice. Velikost částic je řádově jednotky μm .

Kapsle jsou umístěny mezi elektrody a přivedením napětí na horní a dolní elektrodu se částice podle svého náboje přitáhnou k elektrodě s opačnou polaritou. Získáváme tak při pohledu zhora body bílé, jako je to v levé kapsli na obrázku 12. Nebo můžeme kapsli vidět jako černou na pravé straně obrázku. Lze také vytvářet i několik odstínů šedé pomocí dělených elektrod, jako je tomu u kapsle prostřední.

Elektroforetický roztok v kapslích musí být dlouhodobě chemicky stabilní a jako průsvitný roztok se proto používá hydrokarbonový olej. Ten také svou viskozitou zaručuje udržení obsažených částic v požadovaných pozicích i po odpojení napájení. Černé částice jsou vyrobeny z uhlíku. Anorganické bílé

částice mají jádro z oxidu titaničitého, který tvoří jádro částic. Obal částic je tvořen oxidem křemíku a vrstvičkou polymeru.

Pro změnu rozmístění částic v kapsli je potřebný velmi malý proud o velikosti několika desítek nA, při napětí $5\div 15$ V. Po odpojení napájení už není potřeba další proud pro udržení částic v nastavené poloze (proto se také jako technický parametr čtecích zařízení udává, kolik stránek lze na jedno nabití zobrazit).

Vzhledem k tomu, že zařízení nepotřebuje podsvětlení, je vytvořený obraz velmi kontrastní a dobře čitelný i na slunečním světle. Má také velký pozorovací úhel - téměř 180° . Pokud k tomuto přidáme i další výhodu, a tou je velmi nízká spotřeba elektrické energie, ve srovnání s LCD a OLED o 2 až 3 řády, navíc pouze při překreslení obsahu, máme k dispozici to, co bylo uvedeno na začátku: elektronický papír.

Problémem ale zůstává poměrně velké zpoždění při požadavku na změnu obsahu stránky, řádově stovky ms. Tato technologie je tedy nevhodná pro zobrazování videosekvencí.

Slabinou je také malý stupeň odstínů šedé barvy. V současnosti je možné vytvořit obvykle jen 16 odstínů.

Existuje i barevná verze E-Ink. Používá se stejná metoda tvorby barev jako u LCD - barevné filtry. Před každou kapsli se umístí vždy jeden barevný filtr z trojice RGB barev. Výsledek ovšem nedává příliš věrné barvy. Omezena je i barevná hloubka na 4096 (16^3) barev.

6.2 Výhody a nevýhody E-Ink

Výhody

Vysoké rozlišení, dobrý kontrast, čitelnost na přímém slunci, není nutné podsvětlení, velký pozorovací úhel, velmi tenké, možno používat i na pružném podkladu, nulová spotřeba proudu při zobrazení statické informace, minimální spotřeba při překreslení.

Nevýhody

Málo odstínů šedi a tedy i následně špatné barevné rozlišení, velké zpoždění při překreslování.