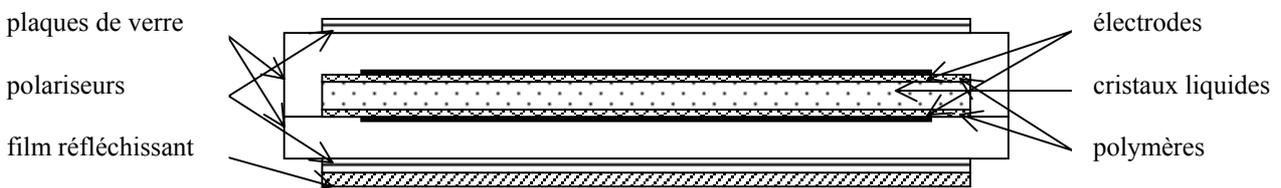


Etude d'un afficheur à cristaux liquides (LCD : Liquid Crystal Display)

La partie A décrit la structure et le fonctionnement d'une cellule LCD. La partie B décrit le dispositif d'étude et les observations à faire pour le caractériser. La partie C décrit comment étudier la réponse des cristaux liquides à un champ électrique en mesurant le coefficient de transmission de la lumière.

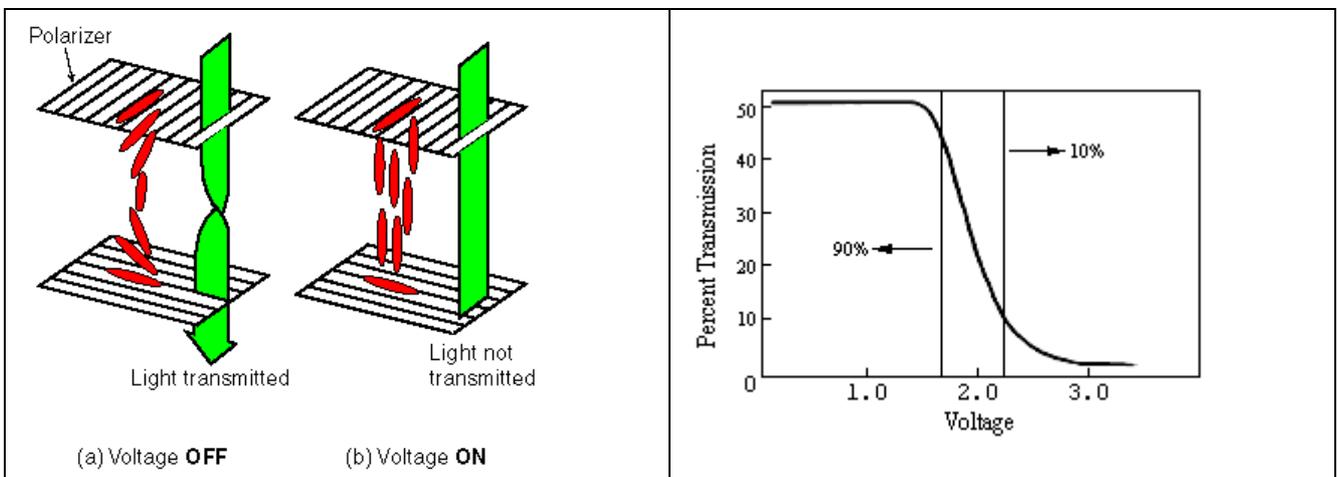
A - Description d'une cellule

Entre deux plaques de verres collées, une cavité de quelques dizaines de microns d'épaisseur est remplie de cristaux liquides dans la phase nématique. Toutes les molécules sont orientées localement dans la même direction. Elles sont parallèles aux surfaces de la cavité, qui leur imposent de plus un axe préférentiel grâce au dépôt d'une couche de polymères qui sont striés dans une direction. Les deux surfaces imposent des directions perpendiculaires de sorte que l'orientation locale des molécules est forcée de tourner de façon continue de 90° à l'intérieur de la cellule. On dit que le liquide nématique est twisté.



Un liquide nématique est anisotrope pour la propagation de la lumière, avec l'axe optique parallèle aux molécules (la différence d'indices Δn peut être de l'ordre de 0,3). Lorsque la cellule précédente est placée entre deux polariseurs croisés, chacun étant parallèle à l'orientation du traitement de surface correspondant. La lumière entrante est d'abord polarisée rectilignement suivant l'axe du premier polariseur, puis le plan de polarisation tourne de 90° en suivant l'axe des molécules, se retrouvant ainsi parallèle au second polariseur et la lumière est transmise (cf. schéma a). L'épaisseur d de la cellule doit vérifier la condition $\Delta n d \gg \lambda$.

Sous l'application d'un champ électrique perpendiculaire aux plaques et supérieur à une valeur critique, les molécules s'orientent dans la direction du champ, ce phénomène porte le nom de transition de Fredericks. L'axe optique est maintenant le long de l'axe de propagation de la lumière, la polarisation n'est plus modifiée, la lumière voit seulement les deux polariseurs croisés, elle est donc entièrement absorbée (cf. schéma b). Cette transition se manifeste par une chute brutale du coefficient de transmission de la lumière en fonction de la tension appliquée (cf. graphe).



C'est ce qui se passe lorsqu'un segment (ou un pixel) d'un écran à cristaux liquides apparaît noir. La tension électrique est appliquée entre deux électrodes métalliques transparentes ayant la forme du segment. Celles-ci sont gravées sur les parois intérieures de la cavité. Sur une des deux faces, toutes les électrodes sont reliées à une broche commune. Sur l'autre face, chaque électrode est reliée à sa propre broche. Pour noircir un segment, il faut donc appliquer une tension entre sa broche propre et la broche commune.

Un afficheur peut fonctionner en transmission, mais il est souvent utilisé en réflexion en ajoutant au dos de la cellule un film réfléchissant faisant office de miroir. Lorsque la lumière arrive sur un segment où est appliqué un champ électrique, elle est absorbée et n'arrive donc pas jusqu'au miroir, le segment paraît noir. Mais lorsqu'elle arrive sur une zone sans champ électrique, elle peut traverser la cellule, elle se réfléchit sur le miroir et peut de nouveau traverser la cellule, cette zone paraît clair.

B - Analyse du fonctionnement

1 - Caractéristiques de l'afficheur

Afficheur à cristaux liquides, 4 digits, utilisation directe, hauteur 25,4 mm

Référence Varitronix: VI 421DP-RC

Code commande Radiospares: 171-2552 (prix: 23 euros)

Spécifications techniques:

- tension: 2,5V à 12V (3V à 5V recommandés)
- composante continue: 25mV maxi
- fréquence de commande: 60Hz à 300Hz
- consommation: 15 nA/mm²
- température d'utilisation: -10°C à +60°C



2 - Description du dispositif

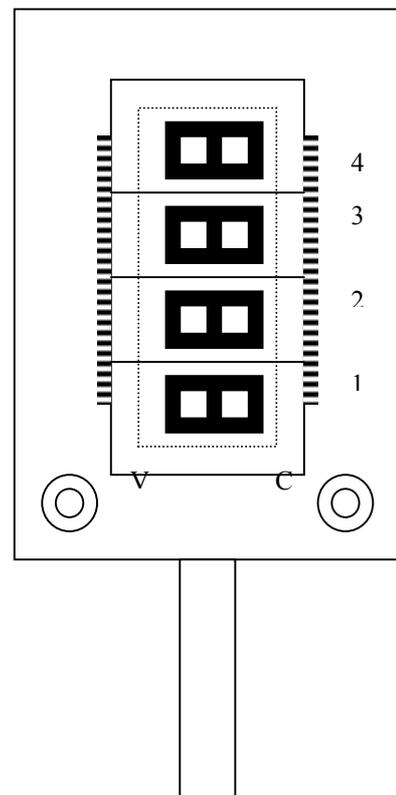
La cellule est montée sur une plaquette où sont réalisées les connexions électriques. La broche commune est reliée la borne C. Toutes les autres broches sont reliées entre elles et à la borne V. Tous les segments s'affichent donc en même temps lorsqu'on applique une tension entre V et C.

L'afficheur est constitué de l'empilement suivant :

- le film polariseur de devant (P1)
- la cellule à cristaux liquides (CL)
- le film polariseur de derrière (P2)
- le film réfléchissant (M)

Les films ont été partiellement retirés sur différentes zones pour permettre d'étudier le fonctionnement de l'afficheur. Chaque zone correspond à un digit.

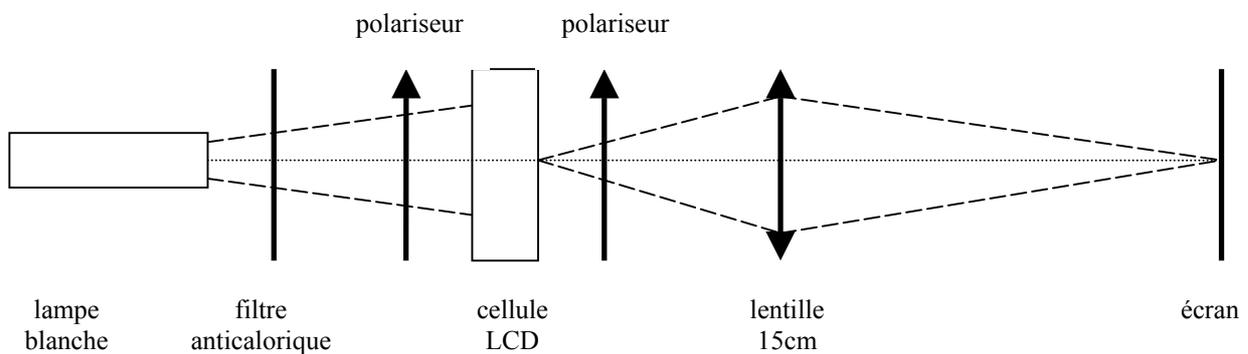
- zone 1 : P1 / CL / P2 / M
- zone 2 : P1 / CL / P2
- zone 3 : P1 / CL
- zone 4 : CL



3 - Transmission en l'absence de champ

Eclairer l'afficheur en lumière blanche et en faire l'image sur un écran et observer les différentes zones :

- zone 2 : placer un polariseur devant (resp. derrière), déterminer l'axe du polariseur P1 (resp. P2); il est horizontal (resp. vertical).
- zone 3 : placer le polariseur derrière, analyser la polarisation à la sortie de la cellule en l'absence de P2; la lumière est fortement polarisée verticalement, le plan de polarisation a donc bien tourné de 90° .
- zone 4 : placer un polariseur devant avec son axe vertical (perpendiculaire à la direction qu'aurait P1), analyser la polarisation à la sortie avec un deuxième polariseur; elle a quand même tourné de 90° alors qu'elle est perpendiculaire aux molécules en entrée; par contre pour une direction oblique, la lumière transmise est colorée, la polarisation rectiligne en entrée devient elliptique en sortie à cause de la biréfringence et varie avec la longueur d'onde.



4 - Application d'un champ électrique

Retirer les polariseurs. Relier les deux bornes à un générateur de tension. Appliquer une tension alternative d'environ 4V et 100Hz (conformément aux spécifications techniques §1). Choisir pour la suite (§C) un générateur basse fréquence pouvant délivrer de -5V à +5V en continu et de -10V à +10V en alternatif de formes sinusoïdale, triangle, créneau et pouvant descendre jusqu'à 15mHz.

- zone 1 : le "8" apparaît en réflexion.
- zone 2 : le "8" apparaît en transmission.
- zone 3 : placer un polariseur derrière, le "8" apparaît noir sur fond blanc s'il est vertical (perpendiculaire à P1, mode positif) et blanc sur fond noir s'il est horizontal (parallèle à P1, mode négatif); le plan de polarisation de la lumière ne tourne donc plus dans la région où est appliquée la tension, les molécules sont alignées le long du champ, dans l'axe de propagation de la lumière.

C - Mesure du coefficient de transmission en fonction de la tension appliquée

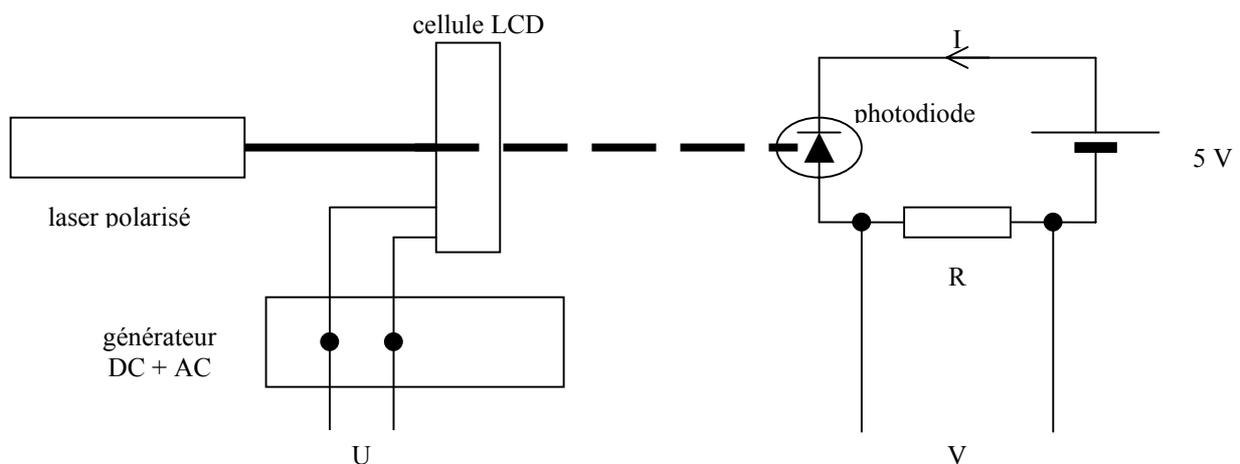
1 - Source lumineuse : laser polarisé

Le faisceau étant parallèle et d'un diamètre inférieur à la taille d'un segment, on n'éclaire que la zone à étudier et on ne mesure que l'intensité transmise par ce segment. Il est indispensable que le laser soit polarisé et il faut mettre sa polarisation à peu près parallèle à la direction du polariseur d'entrée de la cellule (si le laser est vertical, tourner la cellule dans l'autre côté). Un laser dit "non polarisé" est en réalité partiellement polarisé, mais dans une direction qui change au cours du temps, il ne peut donc pas être utilisé pour des expériences de polarisation.

L'étude est faite pour une seule longueur d'onde (laser rouge à 633 nm). Il est possible de la faire en lumière blanche. Mais il faut alors masquer le reste de la cellule pour n'éclairer qu'un seul segment. De plus il est indispensable de mettre un filtre anti-calorique pour n'étudier que le visible, car la cellule ne fonctionne pas dans l'infrarouge et la photodiode mesure aussi l'infrarouge.

2 - Détecteur : photodiode

Pour mesurer l'intensité transmise, on mesure le courant inverse d'une photodiode, car il est linéaire avec l'éclairement. Polariser une photodiode BPW 34 en inverse sous 5V en série avec une résistance variable R (autour de 10 k Ω) reliée à un voltmètre. On mesure une tension $V = R I$ proportionnelle au courant inverse, donc à l'éclairement. Placer le faisceau laser sur la photodiode et ajuster la valeur de R pour que l'amplitude des variations de tension soit maximale entre le faisceau laser stoppé ($V_{\min} = 0V$) et passant ($V_{\max} \sim 4V$), sans toutefois que la photodiode sature ($V_{\max} < 5V$).



3 - Mesure de l'intensité transmise

Intercaler l'afficheur à cristaux liquides de sorte que le faisceau laser le traverse dans la zone 2 où il y a les deux polariseurs. Le laser étant polarisé, il faut mettre son axe parallèle au premier polariseur de la cellule (horizontalement) pour avoir le maximum d'intensité. Se placer au milieu d'un segment. Appliquer progressivement une tension continue U entre 0 et 6V et observer la variation de l'intensité lumineuse transmise, en mesurant la tension V :

- quand le segment est passant ($U = 0V$), on a $V_{\max} \sim 3V$
- quand le segment est absorbant ($U = 6V$), on a $V_{\min} \sim 0,05V$

On peut définir un coefficient de transmission qui varie entre 0 et 1 par

$$T = (V - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$$

4 - Analyse de la courbe de transmission

Tracer $V(U)$ à la table traçante XY ou à l'oscilloscope numérique en mode XY et persistance infinie, en faisant varier U entre $-10V$ et $+10V$:

- soit en DC en variant la tension à la main,
- soit en AC (dents de scie) à très basse fréquence (20 mHz).

Sur cette courbe, on observe :

- une chute brutale de l'intensité transmise pour $U_{\text{seuil}} \sim 3V$,
- un petit pic de transmission juste avant U seuil,
- un bon contraste $V_{\text{max}} / V_{\text{min}} \sim 50$,
- une symétrie pour U positif et U négatif,
- un phénomène d'hystérésis entre la montée et la descente.

La chute du coefficient de transmission correspond à la transition de Fredericks. Les molécules basculent dans la direction du champ électrique au-delà de la tension seuil.

5 - Evolution de l'hystérésis

On visualise la courbe de transmission à l'oscilloscope avec une tension en dents de scie d'amplitude 10V. A très basse fréquence 20mHz, équivalent au continu, la transition se produit en "avance" à la montée par rapport à la descente, et non en "retard" comme c'est généralement le cas lorsqu'il y a des barrières d'énergie à franchir (aimantation ferromagnétique par exemple). Si on se place juste au pied de la transition, la transmission remonte très lentement (expliquant l'hystérésis observé), comme si le champ électrique effectif diminuait. Il pourrait s'agir d'une polarisation du milieu avec apparition d'un champ dépolarisant.

Si on augmente la fréquence, l'hystérésis se réduit vers 200 mHz, puis s'inverse au delà de 500 mHz. La transition se produit maintenant en "retard", car la tension varie plus vite que le temps de réponse des cristaux liquides. Au-delà de 20Hz, la transition disparaît, la cellule ne voit plus que la tension moyenne (efficace) dont la valeur détermine si le segment est passant ou absorbant.

6 - Etude du temps de réponse

Pour mesurer ce temps, on applique un échelon de tension $U(t)$ et on mesure la réponse $V(t)$ à l'oscilloscope numérique en mode Y(t). On fait varier U entre deux valeurs U_0 et U_1 (autour de U_{seuil}) obtenues avec signal créneau AC et un décalage DC. On peut mesurer la réponse pour l'échelon positif $U_0 \Rightarrow U_1$ et négatif $U_1 \Rightarrow U_0$ et pour différentes valeurs de U_0 et U_1 .

On ajuste la fréquence du créneau autour de 2 Hz et le déclenchement de l'oscilloscope sur "vidéo" et "normal" (resp. "inverse") pour l'échelon positif (resp. négatif). On choisit une base de temps de 50 ms/div, on fait une acquisition (bouton "stop"), puis on élargit la base de temps à 10 ms/div. Suivant les conditions, le temps de réponse est de l'ordre de 10 à 100 ms, toujours très supérieur à celui de la photodiode (quelques 10 μs , suivant la résistance de charge).

La réponse temporelle pour un échelon positif entre 0 et 7V présente les mêmes caractéristiques que la courbe statique, avec une petite oscillation, puis une chute vers la valeur asymptotique sur un temps d'environ 10 ms. Pour l'échelon négatif, l'oscillation se produit dès le début, et non pas près de V_{max} comme en statique, et le temps de réponse est un peu plus long, environ 50 ms.

Le temps de commutation dépend des valeurs des tensions initiale et finale. Plus l'écart est faible, plus le temps est long. On peut étudier la dépendance de ce temps avec les valeurs U_0 et U_1 .

Le temps de réponse assez long des cristaux liquides (de l'ordre de 50 ms) limite les possibilités d'utilisation en affichage dynamique à des fréquences inférieures à 20 Hz. C'est toutefois juste assez rapide pour pouvoir les utiliser pour des écrans. On peut visualiser cela en augmentant la fréquence du signal créneau :

- de 0 à 20 Hz, l'oeil voit la modulation du signal lumineux,
- au-delà de 20 Hz, l'oeil ne voit plus la modulation, alors que le contraste visualisé à l'oscilloscope est encore correct si on ajuste U_0 et U_1 .

Bibliographie :

- Collings et Patel, Handbook of liquid crystals research
(p.11 : description des cellules LCD, p.140 : transmission des cellules LCD)
- Sonin, The surface physics of liquid crystals
(p.5 : ancrage des molécules aux surfaces, p.23 : transition de Fredericks)
- Elston, The optics of thermotropic liquid crystals
(p.289 : transmission des cellules LCD)
- De Gennes et Prost, The physics of liquid crystals
(toute la théorie sur les cristaux liquides)

Sites web :

- <http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/main.htm>
- <http://www.eng.ox.ac.uk/lc/research/introf.html>
- <http://bly.Colorado.EDU/lc/tnlc.html>
- http://www.itri.loyola.edu/dsply_jp/c4_s1.htm