

# Οργανικά Ηλεκτρονικά

Ναπολέων Παπουτσάκης, Παππάς Γιώργος Εφραίμ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2020

## I. Εισαγωγή

**Σε αυτή την εργασία θα δούμε λίγα πράγματα σχετικά με την ιστορία των οργανικών ηλεκτρονικών, από την πρώτη αναφορά σε αγώγιμο οργανικό ηλεκτρονικό, μέχρι την πρώτη αναφορά λευκής OLED. Έπειτα, θα γίνει αναφορά στους λόγους και στα πλεονεκτήματα χρήσης των οργανικών ηλεκτρονικών σε εφαρμογές, θα διαπιστώσουμε ότι είναι μια αξιόπιστη λύση για κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και θα δούμε την εφαρμογή τους τόσο σε συστήματα υγείας, όσο και στις οθόνες τεχνολογίας AMOLED, που είναι ίσως από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές οργανικών ηλεκτρονικών.**

## II. Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη αναφορά οργανικών αγώγιμων υλικών έγινε από τον Henry Letheby το 1862 και το υλικό που παρουσιάστηκε ήταν το πολυμερές πολυανιλίνη.

Στη συνέχεια, το 1963, αναφέρθηκε υλικό υψηλής αγωγιμότητας, της τάξης του 1 Siemens ανά cm, που ήταν παράγωγο του τετραϊωδοπυρρολίου.

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1987, οι Ching W. Tang και Steven Van Slyke παρουσίασαν την πρώτη οργανική δίοδο. Η διάταξη της διόδου αποτελείται από 2 λεπτά οργανικά στρώματα, το ένα πάνω στο άλλο, μεταξύ μιας ανόδου και μιας καθόδου. Παρουσίασαν 2 πρωτοπόρες τεχνολογίες που χρησιμοποιούσαν πολύ χαμηλού πάχους οργανικά στρώματα της τάξης των <150nm και καθιέρωσαν τη χρήση της δομής 2 στρωμάτων.

Το 1990, έγινε η εφεύρεση της πολυμερούς OLED. Αυτή η ανακάλυψη άνοιξε τους ορίζοντες για wet-processed OLED τεχνολογίες.

Το 1994 έγινε η πρώτη αναφορά λευκής OLED, που σε συνδιασμό με χρωματικά φίλτρα, στόχευαν στην ανάπτυξη OLED οθονών με πλήρη γκάμα χρωμάτων.

## III. Λόγοι χρήσης οργανικών ηλεκτρονικών

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των οργανικών ηλεκτρονικών έναντι των μη οργανικών, είναι η δυνατότητα εκτύπωσής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Το γεγονός αυτό, διευκολύνει αρκετά την παραγωγή τους και τα καθιστά συμβατά με χαμηλού κόστους πλαστικά υποστρώματα film.

Στην Εικόνα 1, βλέπουμε ένα τέτοιο εκτυπωμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα, πάνω σε πλαστικό film, όπου φαίνεται το πόσο εύκαμπτα είναι αυτά τα ολοκληρωμένα. Με χρήση λοιπόν οργανικών ηλεκτρονικών, μπορούμε να κατασκευάσουμε φθηνές, φιλικές προς το περιβάλλον και εύκαμπτες ηλεκτρονικές συσκευές.

Τα πιο δημοφιλή οργανικά υλικά για κατασκευή ημιαγωγών να είναι το πολυμερές 3-Εξιλοθειοφαίνιο και τα παράγωγά του.



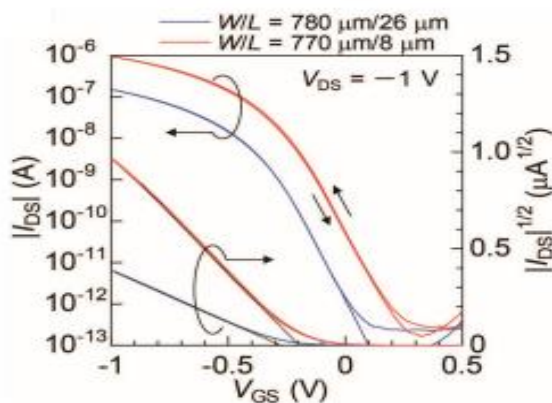
Εικόνα 1: Φωτογραφία από εκτυπωμένο οργανικό κύκλωμα σε πλαστικό υπόστρωμα film.

## IV. Αξιοπιστία των OTFT

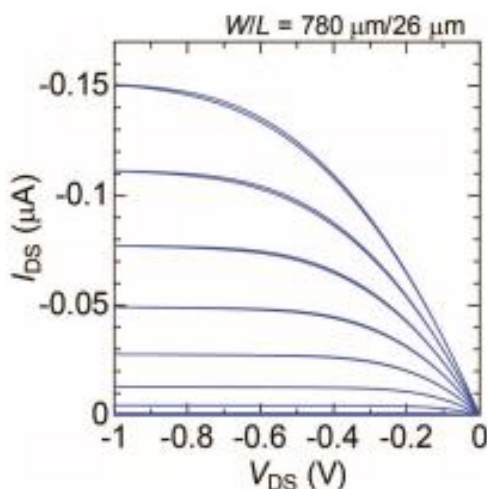
Από τα βασικά ερωτήματα που προέκυψαν, όσον αφορά στη χρήση των οργανικών ηλεκτρονικών για τη δημιουργία κυκλωμάτων, ήταν τόσο η αξιοπιστία τους και η σταθερότητά τους ως προς το χρόνο λειτουργίας τους, όσο και η συνέπεια στην ηλεκτρική συμπεριφορά μιας μεγάλης παραγωγής κυκλωμάτων από οργανικά ηλεκτρονικά.

Στο διάγραμμα στην Εικόνα 2, η μεγάλη γραμμικότητα που φαίνεται στην καμπύλη

$|I_{DS}|^{1/2}(\mu A^{1/2})$ , παρουσιάζει την trap-free συμπεριφορά των OTFT (organic thin-film transistors), κάτι που δηλώνει την σωστή μεταφορά φορτίου στο κύκλωμα. Επίσης βλέπουμε ότι το subthreshold swing, που είναι η απαιτούμενη τάση στην πύλη του τρανζίστορ για τη μεταβολή του ρεύματος εκκροής κατά μία δεκάδα, είναι 100mV, κοντά δηλαδή στην ιδανική τιμή των 60mV, στους 300K. Αντίστοιχα, με βάση το διάγραμμα στην Εικόνα 3, η γραμμικότητα στις χαμηλές τιμές  $V_{DS}$ , σε συνδιασμό με την καλή ηλεκτρική συμπεριφορά που παρουσιάστηκε προηγουμένως, καθιστά τα οργανικά τρανζίστορ αξιόλογη επιλογή για χρήση σε χαμηλές τάσεις λειτουργίας, κι έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε κυκλώματα αντιστροφένων, με χαμηλή τάση λειτουργίας, κοντά στα 0.3V.



Εικόνα 2: Συνάρτηση μεταφοράς των OTFT συσκευών

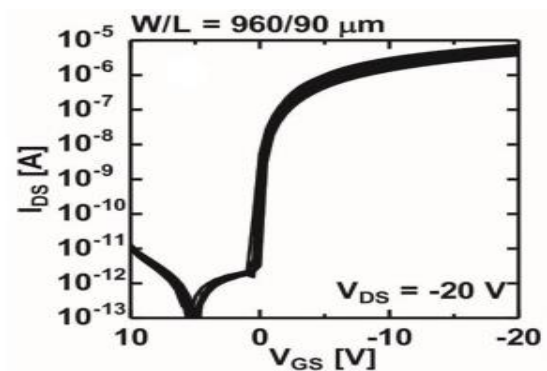


Εικόνα 3: Συνάρτηση εξόδου των OTFT

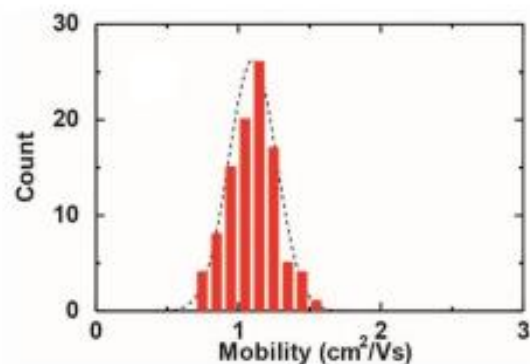
Στις Εικόνες 4, 5, 6 παρουσιάζεται η ηλεκτρική συμπεριφορά μεγάλου δείγματος οργανικών τρανζίστορ.

Αυτό που μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε είναι ότι υπάρχει αρκετή συνέπεια και ελάχιστη απόκλιση, στις τάσεις κατωφλίου, στην ηλεκτρική κινητικότητα καθώς και στο ρεύμα εκκροής των τρανζίστορ για τις διάφορες τιμές των  $V_{GS}$ , κάτι που δείχνει μια ομοιογένεια στη μαζική παραγωγή οργανικών τρανζίστορ.

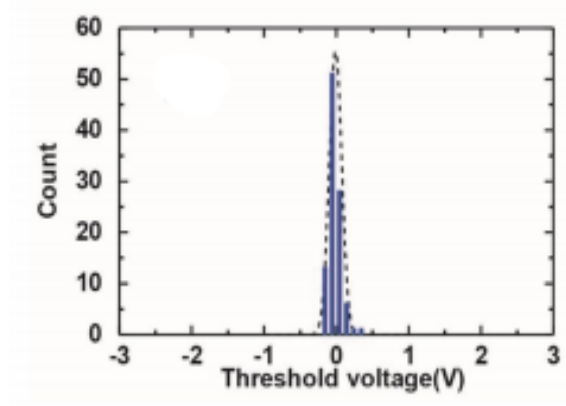
Παράλληλα, οι Εικόνες 7 και 8 παρουσιάζουν τη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά ενός OTFT, που, όπως φαίνεται, ο χρόνος λειτουργίας, δεν επηρεάζει σημαντικά τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 4: Ποικιλομορφία των χαρακτηριστικών μεταφοράς των OTFT



Εικόνα 5: Ποικιλομορφία ηλεκτρικής κινητικότητας των OTFT

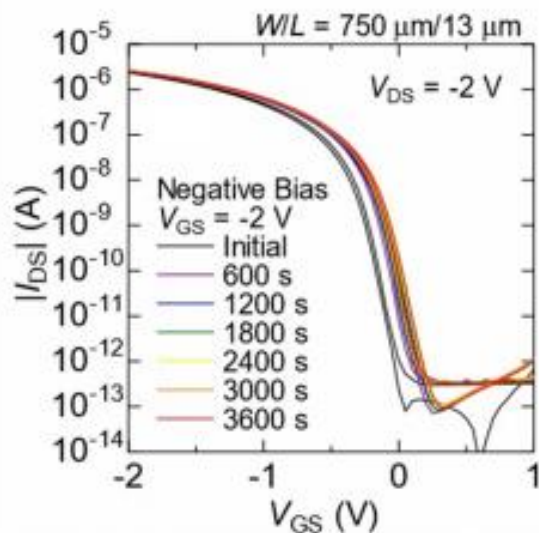


Εικόνα 6: Ποικιλομορφία της τάσης κατωφλίου των OTFT

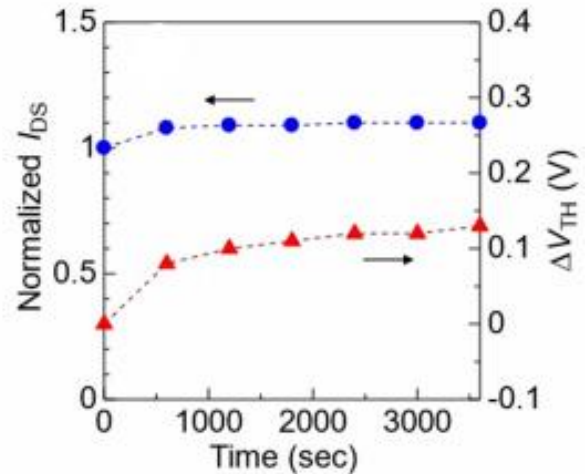
## V. Εφαρμογές των οργανικών ηλεκτρονικών

### α) Ψηφιακά κυκλώματα

Αφού λοιπόν είδαμε ότι τα οργανικά τρανζίστορ είναι μια αρκετά αξιόπιστη λύση, μπορούμε να περάσουμε σε μερικά κυκλώματα που τα αξιοποιούν.

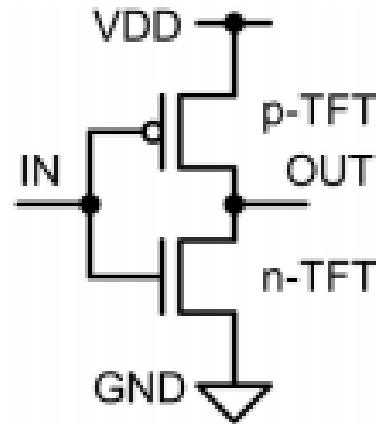


Εικόνα 7: Συμπεριφορά της συνάρτησης μεταφοράς των OTFT ως προς το χρόνο, υπό τάση  $V_{GS} = -2V$



Εικόνα 8: Μέγιστο ρεύμα εκκροής και τάση κατωφλίου, υπό τάση  $V_{GS} = -2V$

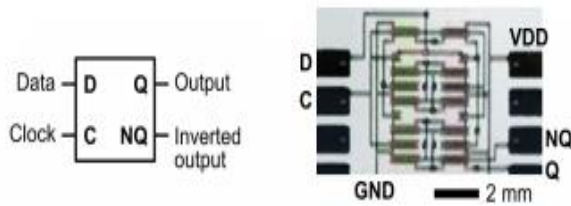
Απο τα πιο συχνά ψηφιακά κυκλώματα που χρησιμοποιούν οργανικά τρανζίστορ είναι οι αντιστροφείς. Στην Εικόνα 9, βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα ενός συμπληρωματικού αντιστροφέα, ο οποίος αποτελείται από ένα οργανικό τρανζίστορ τύπου p και ένα τύπου n.



Εικόνα 9: Σχηματικό εκτυπωμένου οργανικού αντιστροφέα

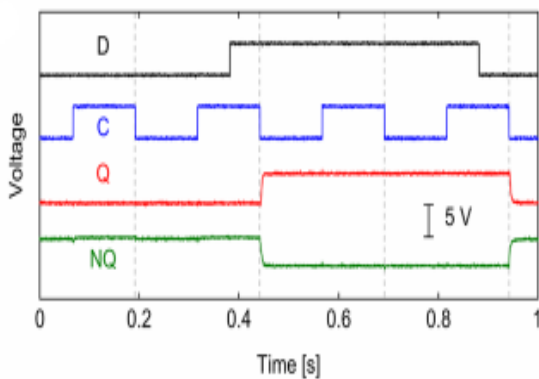
Η λειτουργία του αντιστροφέα έχει ως εξής: Όταν η τάση εισόδου, δηλαδή το IN, που φαίνεται στην Εικόνα 9, είναι Low, το n-type τρανζίστορ είναι ανενεργό, ενώ το p-type επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος, έτσι ο κόμβος εξόδου συνδέεται με το  $V_{DD}$ , αποσυνδέεται από το ground και επομένως είναι στη στάθμη High. Αντίστοιχα, όταν το IN είναι στο High, το OUT θα βρίσκεται στο Low.

Παρακάτω, βλέπουμε ένα D-flip flop, που όπως φαίνεται από την Εικόνα 10, αποτελείται από 9 p-type και 9 n-type OTFTs.



Εικόνα 10: Φωτογραφία εκτυπωμένου D-flip flop

Το διάγραμμα της Εικόνας 11 παρουσιάζει την αρχή λειτουργίας ενός ακμοπυροδοτούμενου σε αρνητική ακμή D-flip flop, όπου όταν μία αρνητική ακμή φτάσει στον ακροδέκτη C, η τάση εισόδου στο άκρο D, αντιγράφεται στην έξοδο Q και παραμένει εκεί, μέχρι την επόμενη αρνητική ακμή.



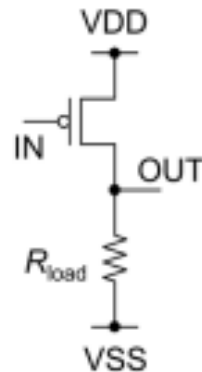
Εικόνα 11: Διάγραμμα χρονισμού του εκτυπωμένου οργανικού D-FF

#### b) Αναλογικά Κυκλώματα

Στα αναλογικά κυκλώματα, τα οργανικά τρανζίστορ χρησιμοποιούνται ως ενισχυτές και όχι σαν on-off διακοπές όπως στα ψηφιακά.

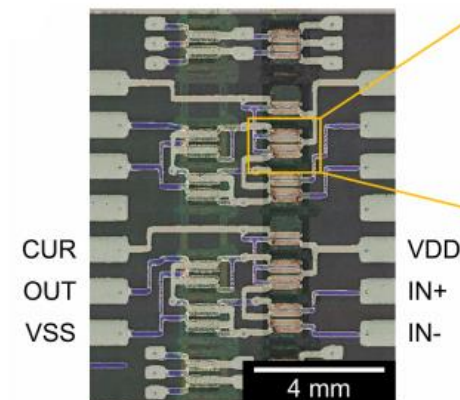
Στην Εικόνα 12 βλέπουμε έναν ενισχυτή με ένα άκρο εισόδου που αποτελείται από ένα οργανικό τρανζίστορ και μια αντίσταση. Το τρανζίστορ, μετατρέπει την τάση εισόδου σε ρεύμα στην έξοδο του, με λόγο μετατροπής ίσο με τη διαγωγιμότητα  $g_m$ . Απο εκεί, το εξερχόμενο ρεύμα από το οργανικό τρανζίστορ μετατρέπεται ξανά σε τάση, μέσω της αντίστασης, με λόγο μετατροπής ίσο με την αντίσταση  $R_{load}$ , σύμφωνα με το νόμο του Ohm,  $V_{out} = R_{load} * I_D$ . Έτσι, το κύκλωμα μετατρέπει τελικά την

τάση εισόδου, σε τάση εξόδου με λόγο ίσο με το γινόμενο  $R_{load}$  επί τη διαγωγιμότητα σύμφωνα με τον τύπο  $A = dV_{out}/dV_{in} = R_{load} * g_m$ .

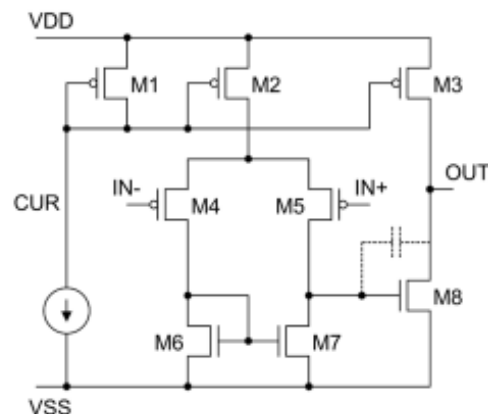


Εικόνα 12: Ενισχυτής με ένα άκρο εισόδου.

Στην Εικόνα 13, βλέπουμε έναν εκτυπωμένο τελεστικό ενισχυτή όπου από την κυκλωματική του αναπαράσταση που φαίνεται στην Εικόνα 14, βλέπουμε ότι αποτελείται από 5 τύπου p και 3 τύπου n οργανικά τρανζίστορ.



Εικόνα 13: Εκτυπωμένος τελεστικός ενισχυτής.



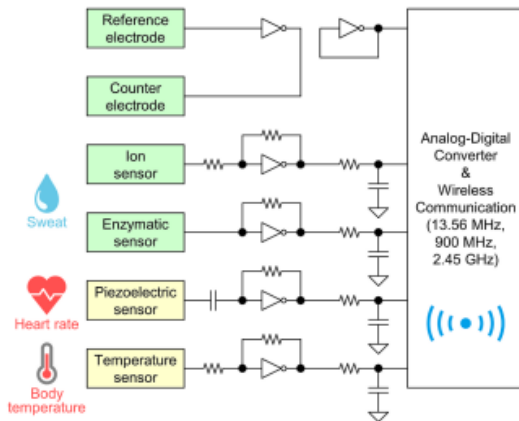
Εικόνα 14: Σχηματικό διαφορικού ενισχυτή με οργανικά τρανζίστορ.

Αυτοί οι ενισχυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες πράξεις, όπως πρόσθεση, αφαίρεση, ολοκλήρωση και παραγωγή, οπότε μπορούν να αξιοποιηθούν σε εφαρμογές επεξεργασίας σήματος, όπως ενεργά φίλτρα, ταλαντωτές και συγκριτές.

#### γ) Βιοαισθητήρες και πολυαισθητήρια συστήματα υγείας

Ένα πεδίο που προσφέρεται ιδιαίτερα για εφαρμογή οργανικών ηλεκτρονικών, είναι αυτό των wearable έξυπνων αισθητήρων υγείας. Η ελαστικότητα, το μικρό πάχος και το χαμηλό βάρος των OTFT εκτυπωμένων κυκλωμάτων, καθιστούν αυτούς τους αισθητήρες κατάλληλους για ενσωμάτωση πάνω στο δέρμα ή στα ρούχα των ανθρώπων με μηδενική σωματική δυσφορία.

Ένα τέτοιο παράδειγμα κυκλώματος για μια wearable συσκευή με πολλά αισθητήρια, φαίνεται στην Εικόνα 15.

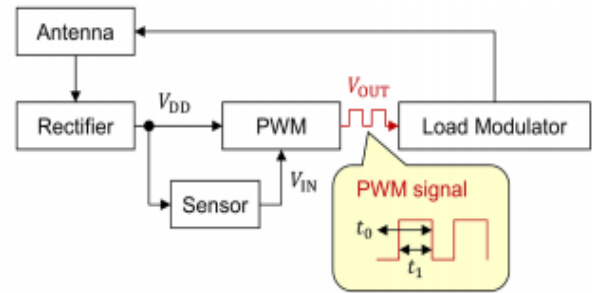


Εικόνα 15: Παράδειγμα κυκλώματος για wearable συσκευή με πολλά αισθητήρια

Εδώ τα εκτυπωμένα OTFT κυκλώματα, ενσωματώθηκαν μεταξύ των αισθητήρων και των μονάδων ασύρματης επικοινωνίας, για να εκτελέσουν διάφορες λειτουργίες όπως ενίσχυση σήματος ή φιλτράρισμα θορύβου.

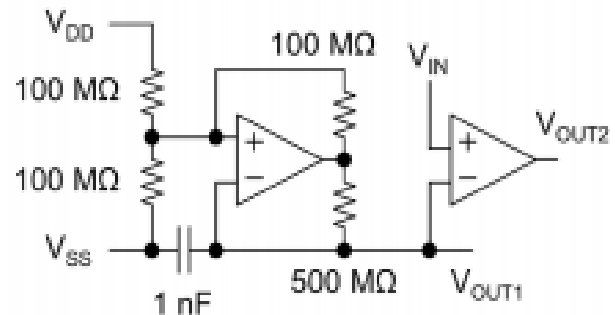
Στην Εικόνα 16, βλέπουμε το σχεδιάγραμμα ενός πλήρως εκτυπώσιμου sensor tag, που βασίζεται στο

PWM. Αυτό, αρχικά, παράγει DC ρεύμα ανορθώνοντας τα ραδιοκύματα που λαμβάνει η κεραία, ενώ ο αισθητήρας παράγει ως έξοδο DC τάση ανάλογα τη μέτρηση που θα λάβει. Το κύκλωμα PWM παράγει ένα σήμα του οποίου το πλάτος εξαρτάται από την έξοδο του αισθητήρα και τελικά το σήμα αυτό εκπέμπεται από τον load modulator της κεραίας.



Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα πλήρως εκτυπώσιμου tag που βασίζεται σε PWM.

Στην Εικόνα 17 φαίνεται το κύκλωμα του PWM, το οποίο αποτελείται από 2 οργανικούς τελεστικούς ενισχυτές, 4 αντιστάσεις και έναν πυκνωτή. Ο πρώτος τελεστικός χρησιμοποιείται για την παραγωγή τριγωνικού κύματος, ενώ ο δεύτερος παράγει το PWM σήμα, του οποίου το πλάτος ρυθμίζεται από τη DC τάση στον ακροδέκτη  $V_{IN}$ , που παρέχει ο αισθητήρας.



Εικόνα 17: Σχηματικό διάγραμμα οργανικού εκτυπωμένου PWM.



## VI. AMOLED

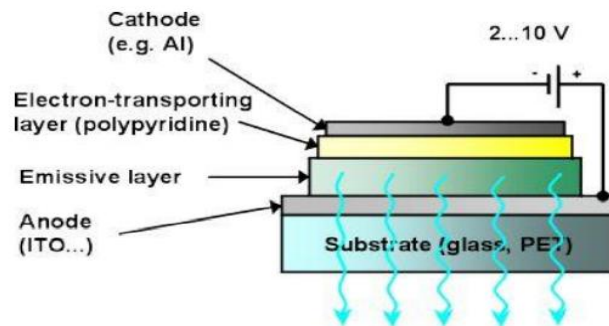
### a) Σύντομη εισαγωγή

Από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές των οργανικών ηλεκτρονικών, είναι οι OLED οθόνες.

Οι οργανικές διόδους που χρησιμοποιούν, αποτελούνται από 2 επίπεδα εκπέμποντων οργανικών επιφανειών, στα οποία εφαρμόζεται μια διαφορά δυναμικού, όπως βλέπουμε στο σχήμα της Εικόνας 18.

Η πρώτη εμπορική χρήση της τεχνολογίας Amoled έγινε το 2003 από την SK Display, που χρησιμοποιήθηκε από την Kodak στις ψηφιακές κάμερες.

Οι οθόνες Amoled προσφέρουν υποστήριξη μεγάλων αναλύσεων, υποστηρίζουν μεγάλο ρυθμό ανανέωσης, είναι ενεργειακά αποδοτικές, κάτι που καθιστά την τεχνολογία αυτή αρκετά σημαντική για χρήση σε φορητές συσκευές, ενώ είναι και εύκαμπτες, σε αντίθεση με τις συμβατικές οθόνες τύπου LCD, επεκτείνοντας επιπλέον έτσι τη γκάμα εφαρμογών που μπορούν να ενσωματωθούν.



Εικόνα 18: Αναπαράσταση των επιπέδων μιας οργανικής διόδου εκπομπής φωτός.

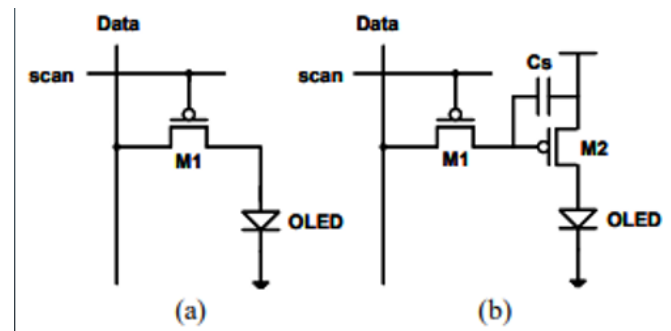
### b) Κύκλωμα οδήγησης OLED pixel

Αρχικά, στην Εικόνα 19a βλέπουμε ένα βασικό κύκλωμα οδήγησης OLED, το οποίο αποτελείται από ένα transistor και μια οργανική διόδο.

Όπως φαίνεται από τη διάταξη, η διόδος θα εκπέμπει φως μόνο όταν το τρανζίστορ M1 είναι ενεργό. Η λειτουργία αυτού του είδους όμως, δεν επιτρέπει την αξιοποίηση τέτοιου κυκλώματος σε οθόνες Active Matrix. Όταν απεικονίζεται μια εικόνα στην οθόνη,

αυτή απεικονίζεται γραμμή προς γραμμή, καθώς μπορούμε να ενεργοποιήσουμε μόνο μια γραμμή της οθόνης κάθε φορά. Μια τέτοια διάταξη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της Passive Matrix διάταξης, καθώς σε αυτή τη διάταξη δεν περιλαμβάνεται κάποιος πυκνωτής, ο οποίος θα διατηρούσε το φορτίο στο OLED. Έτσι, η τεχνολογία αυτή δεν μπορεί να υποστηρίξει μεγάλες αναλύσεις κάτι που αποτελεί μειονέκτημα της Passive Matrix.

Στην Active Matrix τεχνολογία όμως, χρησιμοποιείται ένα TFT μαζί με έναν πυκνωτή, ώστε να διατηρηθεί η γραμμή ενεργή, και έτσι αυτή η τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει μεγάλες αναλύσεις, ενώ, χωρίς αυτή τη διάταξη, αν προχωρούσαμε στην απεικόνιση επόμενου τμήματος της εικόνας, το προηγούμενο κομμάτι θα έσβηνε και θα δημιουργούνταν μια ασυνέχεια στο οπτικό αποτέλεσμα. Έτσι λοιπόν, η Εικόνα 19b δείχνει ένα βασικό κύκλωμα οδήγησης OLED, που εφαρμόζεται σε γενικές γραμμές σε Active Matrix τεχνολογίες, με τη συγκεκριμένη διάταξη ωστόσο να μην προσφέρεται για καλή ποιότητα εικόνας.

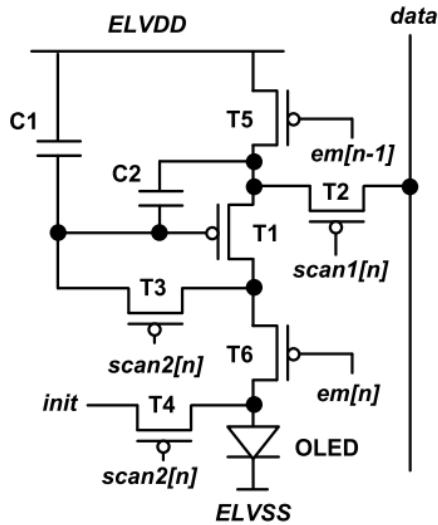


Εικόνα 19: α) Απλό κύκλωμα οδήγησης OLED (1T) β) Κύκλωμα οδήγησης OLED (2T1C)

Επιπλέον, τα κυκλώματα οδήγησης των OLED του πάνελ πρέπει να παρέχουν ρεύμα στο OLED με μια ομοιομορφία. Αυτή την ομοιομορφία την «απειλούν», οι διαφοροποιήσεις στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των τρανζίστορ οδήγησης, οπότε για να επιτευχθεί πιο καλή ποιότητα εικόνας, χρειάζεται, στα κυκλώματα οδήγησης, να ενσωματωθεί κύκλωμα αντιστάθμισης αυτών.

Στην Εικόνα 20 φαίνεται ένα πιο σύνθετο κύκλωμα οδήγησης OLED pixel, που διορθώνει κάποιες ανομοιογένειες, που μπορούν να εμφανιστούν στις τάσεις κατωφλίου των OTFTs και στο subthreshold

slope, το οποίο δείχνει το πόσο γρήγορα μεταβάλεται το ρεύμα με την αύξηση της  $V_{gs}$ .



Εικόνα 20: Προτεινόμενο κύκλωμα οδήγησης OLED

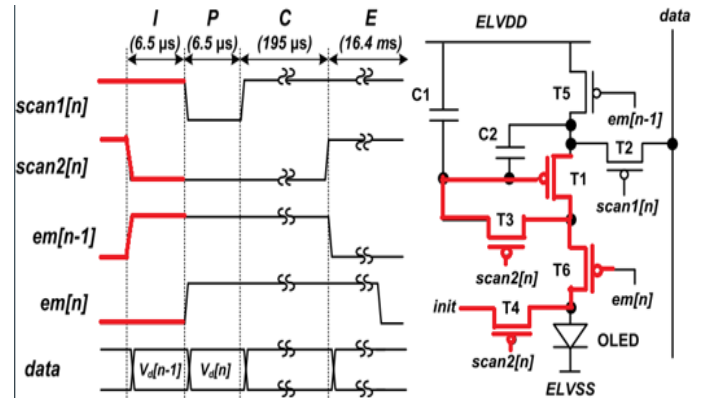
Αυτό το κύκλωμα οδήγησης, έχει 4 φάσεις λειτουργίας, τη φάση **αρχικοποίησης (i)**, τη φάση **προγραμματισμού (ii)**, τη φάση **αντιστάθμισης (iii)** και τη φάση **εκπομπής (iv)**, που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Το τρανζίστορ T1 είναι το τρανζίστορ οδήγησης του OLED, που παρέχει δηλαδή το ρεύμα στη δίοδο, ενώ τα υπόλοιπα τρανζίστορ αξιοποιούνται ως διακόπτες. Οι πυκνωτές C1 και C2 χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της επιθυμητής τάσης στο gate του T1, καθώς αυτή η τάση θα καθορίσει το πόσο ρεύμα θα περάσει στο OLED, και τελικά την ένταση φωτισμού του.

#### (i) Φάση αρχικοποίησης

Αρχικά, στη φάση **αρχικοποίησης**, όπως βλέπουμε απο το διάγραμμα χρονισμού στην Εικόνα 21, τα σήματα scan2[n] και em[n] είναι Low, ενεργοποιώντας έτσι τα τρανζίστορ T3 T4 και T6, ενώ τα υπόλοιπα μένουν ανενεργά. Σε αυτή τη φάση δημιουργείται, ένα «μονοπάτι» απο το init, το οποίο

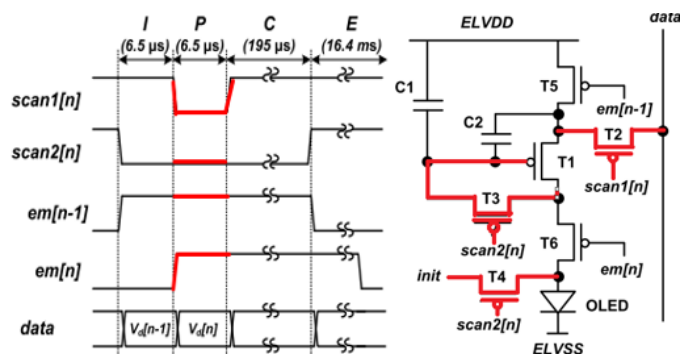
είναι Low, μέχρι το Gate του T1, ώστε να ενεργοποιηθεί το T1.



Εικόνα 21: Φάση αρχικοποίησης

#### (ii) Φάση προγραμματισμού

Προχωρώντας στη φάση του **προγραμματισμού**, το scan1[n] και το scan2[n] είναι Low, οπότε ενεργοποιούνται τα T2, T3 και T4, ενώ τα T5 και T6 παραμένουν ανενεργά. Εδώ, καθώς το T2 είναι ενεργό, το σήμα απο τη γραμμή data,  $V_D$ , μεταφέρεται στο source άκρο του T1. Όπως βλέπουμε από την Εικόνα 22, το T1 είναι σε συνδεσμολογία δίοδου, οπότε η τάση στο gate του T1 εκφράζεται από τη σχέση  $V_G = V_{D[n]} - V_{ThT1}$ , όπου το  $V_{ThT1}$  είναι η τάση κατωφλίου του T1.



Εικόνα 22: Φάση προγραμματισμού

#### (iii) Φάση αντιστάθμισης

Στη φάση **αντιστάθμισης** τώρα, το σήμα scan2[n] είναι Low, οπότε ενεργοποιούνται τα T3 και T4, με τα υπόλοιπα να μένουν ανενεργά. Όπως βλέπουμε απο την Εικόνα 23, αφού το T1 μένει σε συνδεσμολογία δίοδου, το ρεύμα διαρροής υποκατωφλίου ρέει στο τρανζίστορ T1 και έτσι η

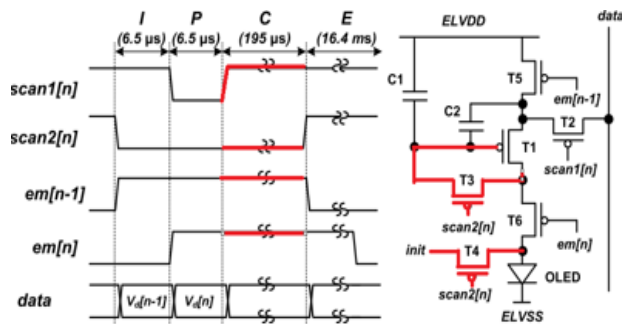
τάση στο Gate εκφράζεται απο τη σχέση  $V_{GATE,T1} = V_{d[n]} - |V_{thT1}| + \Delta V_{SS}$  (1). Το  $\Delta V_{SS}$  που βλέπουμε στη σχέση, οφείλεται στο ρεύμα διαρροής του T1, το οποίο προκαλεί μια αποφόρτιση στον πυκνωτή C2, που διατηρεί την τάση που απαιτείται, στο gate του T1.

Το ρεύμα εκκροής του T1,  $I_D$ , εκφράζεται από τη σχέση (2) που φαίνεται στην Εικόνα 24.

$$\begin{aligned} I_D &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SOURCE,T1} - V_{GATE,T1} - |V_{thT1}|) \\ &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SOURCE,T1} - V_{d[n]} + |V_{thT1}| \\ &\quad - \Delta V_{SS} - |V_{thT1}|)^2 \\ &= \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{SOURCE,T1} - V_{d[n]} - \Delta V_{SS})^2 \end{aligned}$$

Εικόνα 24: Εξίσωση ρεύματος εκκροής

Αντικαθιστώντας το  $V_{gate}$  της σχέσης 1, στη σχέση 2, βλέπουμε ότι το ρεύμα εκκροής έγινε ανεξάρτητο απο την τάση κατωφλίου. Με τη συνδεσμολογία διόδου λοιπόν που περιγράφηκε, λύθηκε το πρόβλημα διαφοροποίησης των τάσεων κατωφλίου, που υπάρχει στα τρανζίστορ οδήγησης T1, κάτι που συντελούσε στη μείωση της ποιότητας εικόνας στις οθόνες AMOLED, αφού έκανε το  $V_{gate}$  να αποκλίνει από το επιθυμητό όμως λόγω αυτής της συνδεσμολογίας διόδου υπάρχει ο παράγοντας της διαφοροποίησης του subthreshold slope μεταξύ των τρανζίστορ οδήγησης T1, που συνεχίζει να επιδρά αρνητικά στην ποιότητα εικόνας.

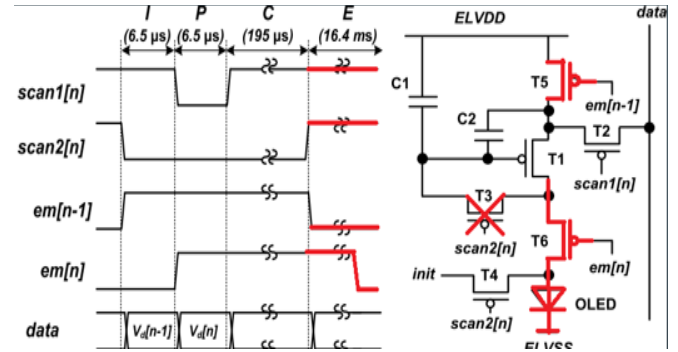


Εικόνα 23: Φάση αντιστάθμισης

#### (iv) Φάση εκπομπής

Στη φάση **εκπομπής**, όπως βλέπουμε από το διάγραμμα χρονισμού στην Εικόνα 25, τα σήματα  $em[n-1]$  και  $em[n]$  είναι Low, ενώ τα υπόλοιπα είναι

high, οπότε ενεργοποιούνται τα τρανζίστορ T5 και T6, με αποτέλεσμα να ρέει ρεύμα στο OLED, τόσο, όσο επιτρέπει η τάση που εφαρμόζεται στο gate του T1. Έτσι, σε αυτή τη φάση καταλαβαίνουμε τη σημασία που έχει το να μείνει η τάση στο gate του τρανζίστορ οδήγησης T1 σταθερή, σύμφωνα με την πληροφορία που θα δώσει το σήμα της γραμμής data, αφού όσο πιο κοντά μείνει το  $V_{gate}$  στο επιθυμητό, όπως αναφέραμε πριν, τόσο πιο καλό οπτικό αποτέλεσμα θα επιτευχθεί.



Εικόνα 25: Φάση εκπομπής

Επομένως, πρώτον, η συνδεσμολογία διόδου στο τρανζίστορ T1, έλυσε το πρόβλημα της τάσης κατωφλίου που υπάρχει στα τρανζίστορ και ουσιαστικά μετέβαλε το  $V_{gate}$  του T1 από την επιθυμητή τάση που ορίζει το σήμα data.

Η συνδεσμολογία όμως αυτή προκαλούσε ένα ρεύμα διαρροής στο T1, αποφορτίζοντας τον πυκνωτή C2, ο οποίος ουσιαστικά διατηρούσε το σήμα data στο  $V_{gate}$ .

Αυτο λύθηκε με τη χρήση του τρανζίστορ T5 και του πυκνωτή C1, όπου όπως βλέπουμε απο το κύκλωμα στην εικόνα 21, όταν το T5 ενεργοποιηθεί παραλληλίζει τους πυκνωτές C1 και C2, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η χωρητικότητα αποθήκευσης της πληροφορίας που δίνει το σήμα data. Έτσι το  $V_{gate}$  μένει πιο κοντά στο επιθυμητό, με τελικό αποτέλεσμα τη διέλευση τόσο ρεύματος, όσο χρειάζεται για να έχουμε το χρωματικό αποτέλεσμα που επιθυμούμε.

## VII. Επίλογος

Συνοψίζοντας λοιπόν, είδαμε ότι τα οργανικά ηλεκτρονικά παρουσιάζουν σημαντικά



πλεονεκτήματα, όπως η ευκολότερη και πιο φθηνή παραγωγή ή η ευκαμψία που παρουσιάζουν.

Έπειτα, παρουσιάστηκε η συνέπειά τους ως προς την ηλεκτρική τους συμπεριφορά, κάτι που αμφισβητούνταν τα προηγούμενα χρόνια και εμπόδιζε την αξιοποίησή τους σε εφαρμογές που παρουσιάστηκαν, όπως βιοαισθητήρες και πολυαισθητήρια συστήματα υγείας.

Τέλος, είδαμε την επέκταση χρήσης των οργανικών ηλεκτρονικών στο πεδίο των οθονών, που είναι ίσως η πιο χαρακτηριστική τους εφαρμογή, και αναλύσαμε ένα κύκλωμα οδήγησης OLED με προδιαγραφές για αξιοποίηση σε Active Matrix διάταξη.

### VIII. Αναφορές

- [1] Hiroyuki Matsui, Yasunori Takeda, Shizuo Tokito, “Flexible and printed organic transistors: From materials to integrated circuits”, Organic Electronics, vol.75, Dec. 2019, 105432
- [2] Mitsuhiro Kodan, “OLED Displays and Lighting”, First Edition, Published 2017 by John Wiley & Sons.
- [3] Nack-Hyeon Keum, Seong-Kwan Hong, Oh-Kyong Kwon, “An AMOLED Pixel Circuit With a Compensating Scheme for Variations in Subthreshold Slope and Threshold Voltage of Driving TFTs”, IEEE journal of solid-state circuits, vol. 55, no. 11, Nov.2020.
- [4] Aram Shin, Sang Jun Hwang, Seung Woo Yu, and Man Young Sung, “Design of Organic TFT Pixel Electrode Circuit for Active-Matrix OLED Displays”, Journal of computers, vol. 3, no. 3, March 2008.
- [5] Srećko Kunić, Zoran Šego. “OLED Technology and Displays”, 54th International Symposium ELMAR-2012, 12-14 September 2012.