



**Τ.Ε.Ι. Κρήτης**  
**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**  
**Τμήμα Ηλεκτρολογίας**

**Πτυχιακή Εργασία**

**«Υπερθέρμανση σε ηλεκτρονικές διατάξεις  
και τεχνικές ψύξης»**

**Σπουδαστής:**

**Σκαρπέλης Δημήτριος**

**Υπεύθυνος Καθηγητής:**

**Κορνήλιος Νίκος**

**Κρήτη, 2009**

---

## Περίληψη

---

Η εργασία αυτή, έχει σαν σκοπό να περιγράψει τις ηλεκτρονικές διατάξεις, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, τις επιπτώσεις από την υπερθέρμανσή τους καθώς και τα διαθέσιμα συστήματα ψύξης που μπορούν να εφαρμοστούν.

Τα κίνητρα για την εκπόνηση της εργασίας αυτής, προέρχονται από την ανάγκη για αποτελεσματικότερη ψύξη της ολοένα και αυξανόμενης θερμότητας που εκλύουν οι σύγχρονες διατάξεις. Η ανάγκη αυτή, πριν λίγα χρόνια δεν υπήρχε, αφού οι λειτουργίες των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων διατηρούνταν σε χαμηλά επίπεδα. Σε ξεχωριστά κεφάλαια θα αναλυθούν επιμέρους έννοιες όπως αυτή των διατάξεων, της υπερθέρμανσης και των ψυκτικών μέσων.

Ειδικότερα στο πρώτο κεφάλαιο, θα περιγραφούν αναλυτικά τα είδη των ηλεκτρονικών διατάξεων όπως τα θυρίστορ, οι πυκνωτές, οι δίοδοι, οι μετασχηματιστές, οι μικροελεγκτές κ.ά. Επίσης, θα παρατεθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός καθώς και των υλικών και των μέσων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται η υπερθέρμανση ως φαινόμενο που εμφανίζεται στις ηλεκτρονικές διατάξεις καθώς και τα προβλήματα που δημιουργεί σε ολοκληρωμένα συστήματα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται οι βασικές τεχνικές και τα μέσα ψύξης των ηλεκτρονικών διατάξεων. Τα μέσα αυτά, εξαρτώμενα από το μέσο που χρησιμοποιούν για την απαγωγή της θερμότητας, θα χωριστούν σε κατηγορίες όπως στην ψύξη μέσω αέρα, στην ψύξη μέσω νερού και τέλος, στην ψύξη μέσω συμπίεσης και εξάτμισης αερίων.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από τα στοιχεία των κεφαλαίων που παρατίθενται.

---

**Πίνακας Περιεχομένων**


---

Περίληψη .....	2
Πίνακας Περιεχομένων .....	3
Εισαγωγή .....	5
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> - Είδη διατάξεων .....</b>	<b>7</b>
1.1. Θυρίστωρ .....	8
1.2. Πυκνωτές .....	9
1.2.1. Χαρακτηριστικά των πυκνωτών .....	10
1.2.2. Οι κατηγορίες των πυκνωτών .....	12
1.2.2.1. Πυκνωτές χάρτου (Paper Capacitors) .....	12
1.2.2.2. Πυκνωτές μίκας (Mica Capacitors) .....	13
1.2.2.3. Πυκνωτές με διηλεκτρικό πλαστικό .....	14
1.2.2.4. Κεραμικοί πυκνωτές .....	14
1.2.2.5. Πυκνωτές τρίμερ .....	15
1.2.2.6. Πυκνωτές μεταλλικού χάρτου (metal paper) .....	16
1.2.2.7. Πυκνωτές με διηλεκτρικό από συνθετική ύλη .....	17
1.2.2.8. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές .....	17
1.2.2.9. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου .....	18
1.3. Δίοδοι .....	19
1.3.1. Κατηγορίες διόδων .....	20
1.3.1.1. Δίοδοι ακίδας .....	20
1.3.1.2. Δίοδοι επαφής .....	21
1.3.1.3. Δίοδοι Zener .....	22
1.3.1.4. Δίοδοι LED (Light Emitting Diodes, φωτοεκπομποί δίοδοι) .....	23
1.3.1.5. Δίοδοι σήραγγας (Tunnel) .....	24
1.3.1.6. Δίοδοι PIN .....	25
1.3.1.7. Δίοδοι μεταβλητής χωρητικότητας (Varicap) .....	25
1.4. Τρανζίστωρ .....	26
1.4.1. Οι κατηγορίες των τρανζίστωρ .....	27
1.4.2. Μέθοδοι κατασκευής τρανζίστωρ .....	28
1.5. Οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων .....	30
1.5.1. Οικογένεια TTL .....	32
1.5.2. Οικογένεια CMOS .....	33
1.5.3. Οικογένεια ECL .....	35
1.5.4. Χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων .....	35
1.6. Μετασχηματιστές .....	36
1.6.1. Κατηγορίες μετασχηματιστών .....	37
1.6.1.1. Μετασχηματιστές τροφοδοσίας .....	37
1.6.1.2. Αυτομετασχηματιστές .....	38
1.6.1.3. Μετασχηματιστές υψηλής τάσης .....	39

1.6.1.4. Μετασηματιστές ακουστικών συχνοτήτων.....	39
1.6.1.5. Τοροειδής μετασηματιστές .....	40
1.7. Θερμίστορ .....	40
1.8. Μικροελεγκτές.....	41
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> - Διάγνωση βλαβών σε ηλεκτρονικές διατάξεις – Τα προβλήματα της υπερθέρμανσης.....</b>	<b>43</b>
2.1. Η έννοια της μεταφοράς της θερμότητας .....	44
2.2. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις ηλεκτρονικές διατάξεις.....	44
2.3. Τα βήματα για τη διάγνωση βλαβών .....	47
2.4. Μορφές ηλεκτρονικών προβλημάτων από υπερθέρμανση.....	48
2.5. Υπερθέρμανση σε κυκλώματα με θυρίστορ και τράιακ.....	50
2.6. Η υπερθέρμανση στους μετασηματιστές .....	53
2.7. Υπερθέρμανση των πυκνωτών και δημιουργία επιμέρους προβλημάτων.....	53
2.8. Η υπερθέρμανση των αντιστάσεων .....	55
2.9. Η υπερθέρμανση στα τρανζίστορ .....	55
2.10.Υπερθέρμανση σε διόδους τύπου zener.....	57
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> - Η ψύξη και οι βασικές τεχνικές.....</b>	<b>58</b>
3.1. Η χρήση του αέρα ως μέσο ψύξης.....	60
3.1.1. Οι ψήκτρες ως εργαλείο αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης.....	61
3.1.2. Τα πλεονεκτήματα του ψυκτικού κύκλου του αέρα .....	65
3.1.3. Η εφαρμογή της ψήκτρας στου ηλεκτρονικούς υπολογιστές .....	66
3.2. Η ψύξη με μέσο απαγωγής το νερό .....	68
3.2.1. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης υδρόψυξης .....	70
3.3. Η ψύξη με μέσο απαγωγής το αέριο .....	71
3.3.1. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης Phase - Change .....	73
3.4. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ψύξης για μια ηλεκτρονική διάταξη.....	73
3.5. Τα βασικά κριτήρια επιλογής ψύκτρας.....	76
3.6. Οι απόψεις των κατασκευαστών στη ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων .....	77
3.7. Εταιρείες παραγωγής συστημάτων ψύξης Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (H/Y) 80	
3.7.1. Η εταιρεία CoolerMaster .....	80
3.7.2. Η εταιρεία Thermalright .....	81
3.7.3. Η εταιρεία Xigmatek.....	81
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - Θερμικές αντιδράσεις – Πρακτικές εφαρμογές υπολογισμού ψύκτρας σε τρανζίστορ .....</b>	<b>84</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>97</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>99</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>102</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων -Εικόνων .....</b>	<b>102</b>

---

## Εισαγωγή

---

Η ηλεκτρονική είναι ένας από τους κλάδους της τεχνολογίας που τα τελευταία χρόνια γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη και έχει επηρεάσει ανεπιφύλακτα τον τρόπο ζωής του ανθρώπου σε μεγάλο βαθμό. Ο άνθρωπος έρχεται καθημερινά σε επαφή με πάρα πολλά από τα επιτεύγματα της ηλεκτρονικής κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης δραστηριότητάς του στο σπίτι, στο χώρο εργασίας και διακίνησής του και κατά την ψυχαγωγία του. Οι βιομηχανίες επίσης χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό την τεχνολογία των ηλεκτρονικών.

Αν και το πρώτο ηλεκτρονικό εξάρτημα που εφευρέθηκε είναι η λυχνία στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, όμως η μεγάλη παραγωγή ηλεκτρονικών συσκευών άρχισε μετά το 1948 όταν εφευρέθηκε το τρανζίστορ.

Οι πρώτες ηλεκτρονικές συσκευές ήταν ογκώδεις και παρουσίαζαν εύκολα τεχνικές βλάβες. Με την πάροδο του χρόνου η ποιότητα των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων βελτιώθηκε και το μέγεθος των συσκευών ελαττώθηκε.

Ορόσημο στο μέγεθος των ηλεκτρονικών συσκευών έπαιξε η κατασκευή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και διατάξεων τη δεκαετία του 1970 τα οποία είχαν μικρό μέγεθος και περιλάμβαναν αρχικά λίγες εκατοντάδες τρανζίστορ. Με τη βελτίωση της κατασκευής των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και την αύξηση του αριθμού των τρανζίστορ που περιλάμβαναν, η τεχνολογία των ηλεκτρονικών γνώρισε τεράστια άνοδο, και άρχισαν να κατασκευάζονται μικρές, βολικές και έξυπνες συσκευές οι οποίες πολλές φορές μπορούσαν και να προγραμματιστούν.

Ο νεωτερισμός των ηλεκτρονικών διατάξεων με τα μεγάλα πλεονεκτήματά τους, έμελλε να αποτελέσει την αρχή για μια σειρά από άλλους νεωτερισμούς, που προκάλεσαν πραγματική επανάσταση στα ηλεκτρονικά, στα διαστημικά ηλεκτρονικά, στα όργανα μετρήσεων και στα ηλεκτρονικά για πλατύ κοινό.

Μια διάταξη λειτουργεί σωστά αν έχει τα κατάλληλα και σωστά χαρακτηριστικά, δε διασπάται από τις τάσεις λειτουργίας, διατηρεί τη διαρροή ρευμάτων μέσα στα όρια των ανοχών. Το στοιχείο αυτό της ορθής λειτουργίας επηρεάζεται από το φαινόμενο της υπερθέρμανσης.

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα περιγραφούν με κάθε δυνατή λεπτομέρεια οι περισσότερες ηλεκτρονικές διατάξεις καθώς και τα χαρακτηριστικά που τις διέπουν. Επίσης, θα αναλυθούν τα προβλήματα της υπερθέρμανσης που τυχόν δύναται να παρουσιάσουν και τέλος ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί η υπερθέρμανση.

---

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**  
**Είδη διατάξεων**

---

---

## 1.1. Θυρίστωρ

---

Για πολλά χρόνια απασχολούσε τους τεχνικούς το πρόβλημα της κατασκευής εξαρτημάτων που θα αντικαθιστούσαν ολοκληρωτικά της λυχνίες εκτός φυσικά από τα τρανζίστορ. Έτσι το 1957, οι τεχνικοί της General Electric, κατασκεύασαν σε εμπορική κλίμακα τον ελεγχόμενο ανορθωτή πυριτίου (SCR, Silicon Controlled Rectifier) που μαζί του λύθηκε το πρόβλημα του χειρισμού μεγάλων ισχύων με μικρά ηλεκτρονικά εξαρτήματα<sup>1</sup>.

Με τον όρο θυρίστωρ, περιγράφεται μια ομάδα ημιαγωγών, οι οποίοι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά δηλαδή, ημιαγωγοί που είναι είτε ανοικτοί, είτε στον κόρο. Δεν μπορούν να βρεθούν σε κάποια ενδιάμεση κατάσταση όπως γίνεται με τα διπολικά τρανζίστορ ή τα FET. Μέλη της οικογένειας των θυρίστωρ είναι, τα τράιακ, GTO, SBS, SIDAC, UJT και PUT.

Τα θυρίστωρ και τα τράιακ, είναι εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταγωγή σε τμήμα του κύκλου και βρίσκονται στις διάφορες οικιακές μικροσυσκευές. Επίσης, χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για τον έλεγχο πολύ μεγάλων κινητήρων DC και για τη μετατροπή εναλλασσόμενης ισχύος σε συνεχή ισχύ. Η οικογένεια των θυρίστωρ έχει πολλά μέλη τα οποία βρίσκουν πλήθος εφαρμογών στην ηλεκτρονική και τα οποία είναι<sup>2</sup>:

- 1) Δίοδος Shockley ή δίοδος τεσσάρων στρωμάτων.
- 2) Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου SCR (Silicon Controlled Rectifier).
- 3) Ελεγχόμενος διακόπτης πυριτίου SCS (Silicon Controlled Switch).
- 4) Ελεγχόμενος διακόπτης πύλης GCS (Gate Controlled Switch) ή GTO (Gate Turn - Off).
- 5) Δίοδος εναλλασσόμενου ρεύματος Diac (Diode Alternating Current).
- 6) Τρίοδος εναλλασσόμενου ρεύματος Triac (TRIode Alternating Current).
- 7) SUS (Silicon Unilateral Switch) μονόπλευρος μεταγωγός πυριτίου.
- 8) SBS (Silicon Bilateral Switch) αμφίπλευρος μεταγωγός πυριτίου.
- 9) LASCR (Light Activated SCR) SCR που διεγείρεται με φως.
- 10) LASCS (Light Activated SCS) SCS που διεγείρεται με φως.
- 11) Amplifying Gate SCR ή SCR με πύλη που ενισχύει.

---

<sup>1</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

<sup>2</sup> Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι αντίληψης βλαβών», Τόμος II, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα



- 12) QUADRAC. Συνδυασμός Diac και Triac στην ίδια συσκευασία.
- 13) Logic Triac, λογικό Triac.
- 14) Complementary SCR, συμπληρωματικό SCR.
- 15) Solid State Thyatron, θύρατρον στερεάς κατάστασης.
- 16) PUT (Programmable Unijunction Transistor, προγραμματιζόμενο μονοεπαφικό τρανζίστορ).

---

## 1.2. Πυκνωτές

---

Πυκνωτής είναι ένα στοιχείο το οποίο σχηματίζεται όταν δυο αγώγιμες πλάκες (οπλισμοί) διαχωρίζονται με ένα μονωτή (διηλεκτρικό). Αν στους οπλισμούς εφαρμοστεί τάση, στο διηλεκτρικό μεταξύ των οπλισμών σχηματίζονται δυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου. Η ηλεκτρική ροή που αναπτύσσεται αποτελεί μέτρο της χωρητικότητας που σχηματίζεται από τους οπλισμούς και το διηλεκτρικό.

Η βασική μονάδα χωρητικότητας είναι το Farad (F), προς τιμή του Άγγλου φυσικού Faraday(1791-1867). Η μονάδα αυτή είναι όμως πολύ μεγάλη για πρακτικές εφαρμογές και έτσι χρησιμοποιούνται υποπολλαπλάσια της. Όταν στους ακροδέκτες ενός πυκνωτή εφαρμοστεί μια συνεχής (dc) τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή αναπτύσσεται ένα φορτίο<sup>3</sup>.

**Εικόνα 1**  
**Πυκνωτής**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

<sup>3</sup> Τούλογλου Σ., Στεργίου Β. (1991), «Τεχνολογία ηλεκτρολογικών υλικών και εξαρτημάτων», 3<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Ανάλογη με το είδος του διηλεκτρικού που υπάρχει ανάμεσα στους οπλισμούς ενός πυκνωτή είναι και η ονομασία αυτού.

Έτσι, αν σαν διηλεκτρικό υλικό υπάρχει ο αέρας, τότε ο πυκνωτής λέγεται «αέρος», αν σαν διηλεκτρικό υλικό υπάρχει η μίκα, τότε ο πυκνωτής λέγεται «μίκας» κοκ. Η επιλογή ενός πυκνωτή - σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή - προϋποθέτει και την γνώση των τεχνικών χαρακτηριστικών στοιχείων του, που είναι<sup>4</sup>:

- 1) Η ονομαστική τάση που είναι εκείνη για την οποία έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί ο πυκνωτής.
- 2) Η χωρικότητα, είναι μέγεθος που δείχνει τον αριθμό των φορτισμένων σωματιδίων που μπορεί να δεχθεί ο κάθε οπλισμός του πυκνωτή, αν εφαρμοστεί σ' αυτόν η ονομαστική τάση λειτουργίας του.
- 3) Η ονομαστική ισχύς που είναι εκείνη που παρουσιάζει ο πυκνωτής αν εφαρμόζεται στα άκρα του η ονομαστική τάση λειτουργίας του.
- 4) Η τάση λειτουργίας που φυσικά πρέπει να είναι μικρότερη από την ονομαστική.
- 5) Η τάση δοκιμής που είναι εκείνη στην οποία ελέγχθηκε ο πυκνωτής.
- 6) Τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας χρησιμοποίησης και λειτουργίας του πυκνωτή.

---

### **1.2.1. Χαρακτηριστικά των πυκνωτών**

---

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά των πυκνωτών θα μπορούσαν να εντοπιστούν στα ακόλουθα<sup>5</sup>:

- 1) Όταν σε πυκνωτή εφαρμοστεί εναλλασσόμενη (ac) τάση, ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται εναλλάξ. Γενικά στον πυκνωτή το ρεύμα προπορεύεται κατά φάση από την τάση.
- 2) Σταθερά χρόνου. Όταν στον πυκνωτή εφαρμοστεί μια τάση dc μέσω μιας αντίστασης R, τότε για να φορτιστεί ο πυκνωτής χρειάζεται χρόνο. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται από το γινόμενο  $RC = T$  που ονομάζεται σταθερά χρόνου (T σε sec, R σε Ohm και C σε F).

---

<sup>4</sup> Παπακωνσταντίνου Χ. (1996), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και στοιχεία ηλεκτρονικού σχεδίου», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

<sup>5</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

- 3) Συντελεστής Q και συντελεστής κατανάλωσης. Σε παράλληλα κυκλώματα με πυκνωτές, είναι ευκολότερη η μεταβολή του ESR σε μια ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση (Equivalent Parallel Resistance, EPR).
- 4) Συντελεστής θερμοκρασίας. Οι πυκνωτές όπως και οι αντιστάσεις υφίστανται μεταβολή της τιμής τους με την θερμοκρασία. Ενώ όμως στην αντίσταση, εκτός από θερμίστορ, η μεταβολή με την θερμοκρασία δεν είναι επιθυμητή, μερικοί πυκνωτές κατασκευάζονται με συγκεκριμένους συντελεστές θερμοκρασίας και χρησιμοποιούνται για αντιστάθμιση της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής θερμοκρασίας (Temperature Coefficient, TC) εκφράζεται σαν η μεταβολή της χωρητικότητας για μεταβολή της θερμοκρασίας ανά βαθμό κελσίου. Απώλειες πυκνωτών. Το χρησιμοποιούμενο διηλεκτρικό υλικό των πυκνωτών δεν έχει άπειρη αντίσταση πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχουν απώλειες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες είναι η θερμοκρασία και η τάση λειτουργίας των πυκνωτών. Τάση λειτουργίας. Σε κάθε πυκνωτή μπορεί να εφαρμοστεί μια μέγιστη τάση λειτουργίας. Αν η τάση αυτή ξεπεραστεί για οποιοδήποτε λόγο τότε έχουμε διάτρηση του διηλεκτρικού και καταστροφή του πυκνωτή. Η μέγιστη τάση έχει σχέση με την σκληρότητα του διηλεκτρικού και την απόσταση των οπλισμών. Στην πράξη οι πυκνωτές λειτουργούν σε τάση πιο μικρή από το μισό της τάσης διάτρησης.
- 5) Χωρητικότητα και ανοχή. Η χωρητικότητα κάθε πυκνωτή αναγράφεται στο σώμα του είτε με κώδικα χρωμάτων είτε με κώδικα αριθμών. Αν δεν υπάρχει καμία ένδειξη ως προς την μονάδα μέτρησης τότε συνήθως η τιμή του διαβάζεται σε pF. Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εξαρτάται από την συχνότητα.
- 6) Αντίσταση μόνωσης. Το διηλεκτρικό δεν παρουσιάζει άπειρη αντίσταση. Ένας φορτισμένος πυκνωτής αν ήταν με ιδανικό διηλεκτρικό θα διατηρούσε την φόρτιση του αόριστα.
- 7) Συντονισμός πυκνωτή. Οι πυκνωτές συνδέονται στα κυκλώματα με συρματικούς ακροδέκτες.

---

### 1.2.2. Οι κατηγορίες των πυκνωτών

---

Ανάλογα με την χρήση τους, οι πυκνωτές χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες<sup>6</sup>:

- 1) Γενικής χρήσης.
- 2) Ηλεκτρολυτικούς.
- 3) Μεταβλητούς.

Οι πυκνωτές γενικής χρήσης διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με το διηλεκτρικό τους που μπορεί να είναι:

- 1) Χαρτί.
- 2) Μίκα.
- 3) Πλαστικό.
- 4) Κεραμικό.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές επίσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες πάλι ως προς το διηλεκτρικό και είναι

- 1) Αλουμινίου.
- 2) Τανταλίου.

Εκτός από τις δύο παραπάνω κατηγορίες χρησιμοποιούνται και άλλα μέταλλα και τα οξειδία τους Τέλος, σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενης χωρητικότητας χρησιμοποιούνται πυκνωτές που δίνουν διάφορες τιμές χωρητικότητας και ονομάζονται:

- 1) Μεταβλητοί.
- 2) Ρυθμιζόμενοι.

---

#### 1.2.2.1. Πυκνωτές χάρτου (*Paper Capacitors*)

---

Οι πυκνωτές χάρτου, όπως λέει και η ονομασία τους έχουν σαν διηλεκτρικό το χαρτί σε διάφορες μορφές και είδη. Το διηλεκτρικό χαρτί πλένεται με καθαρό νερό πολύ καλά, στεγνώνει, γίνεται έλεγχος του πάχους του, της διηλεκτρικής του σκληρότητας και των διηλεκτρικών απωλειών του. Στην συνέχεια σχηματίζονται στρώσεις οπλισμού (συνήθως λεπτό φύλο αλουμινίου), τυλίγονται σε κυλίνδρους,

---

<sup>6</sup> Kaufman - Seidman A. (1992), «Εγχειρίδιο ηλεκτρονικής», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

τοποθετούνται ακροδέκτες στις δύο βάσεις του κυλίνδρου και η όλη κατασκευή τοποθετείται σε δοχεία αλουμινίου. Στην συνέχεια το διηλεκτρικό ποτίζεται με ειδικά λάδια, σφραγίζεται, επικαλύπτεται με πλαστικά καλύμματα πάνω στα οποία αναγράφεται η τιμή, η τάση εργασίας και διάφορα άλλα στοιχεία και δίνεται στο εμπόριο.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλώματα ισχύος, στην εκκίνηση ηλεκτροκινητήρων σαν αντιπαρασιτικοί πυκνωτές αυτοκινήτων, σε ηχεία κλπ. Τα γενικά χαρακτηριστικά των πυκνωτών χάρτου είναι<sup>7</sup>:

- Θερμοκρασία λειτουργίας,  $-25^{\circ}\text{C}$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$
- Τάση αντοχής, 2.5 φορές την τάση λειτουργίας

---

#### 1.2.2.2. Πυκνωτές μίκας (Mica Capacitors)

---

Οι πυκνωτές μίκας κατασκευάζονται σε τέσσερις τύπους<sup>8</sup>:

- 1) Κατεργασμένης μίκας.
- 2) Τυποποιημένης μίκας.
- 3) Επαργυρωμένης μίκας.
- 4) Με πλήρωση αερίου μέσα σε μεταλλικές θήκες.

Η μίκα είναι ορυκτό το οποίο μπορεί να διαχωριστεί σε λεπτότατα φύλλα, που επεξεργάζονται, τυποποιούνται σαν διηλεκτρικό υλικό. Οι οπλισμοί των πυκνωτών μίκας είναι λεπτά φύλλα αλουμινίου.

Οι πυκνωτές επαργυρωμένης μίκας κατασκευάζονται με τρόπο ώστε χημικά να τοποθετείται λεπτό στρώμα αργύρου πάνω στην επιφάνεια της μίκας. Τα στρώματα αργύρου είναι οι οπλισμοί του πυκνωτή. Τέλος, οι πυκνωτές μίκας με πλήρωση αερίου είναι επαργυρωμένα φύλλα μίκας τοποθετημένα σε δοχείο από μέταλλο το οποίο πληρώνεται με αδρανές αέριο για πλήρη απομόνωση από το περιβάλλον. Οι πυκνωτές μίκας έχουν πολύ μικρές απώλειες, σταθερή χωρητικότητα και μπορούν να εργαστούν σε τάσεις μεγαλύτερες από τους πυκνωτές χάρτου. Τα γενικά χαρακτηριστικά των πυκνωτών μίκας είναι:

- Θερμοκρασία λειτουργίας,  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $+200^{\circ}\text{C}$

---

<sup>7</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

<sup>8</sup> Καραγιάννης Α. (2000), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

- Ανοχή,  $\pm 0.05\%$  έως  $\pm 10\%$
- Αντίσταση μόνωσης, 500.000M $\Omega$  min
- Τάση λειτουργίας, μέχρι 2500V

---

### 1.2.2.3. Πυκνωτές με διηλεκτρικό πλαστικό

---

Οι πυκνωτές με διηλεκτρικό πλαστικό υλικό κατασκευάζονται μαζικά και μαζί με τους κεραμικούς τείνουν να γίνουν οι πιο πολυχρησιμοποιημένοι πυκνωτές, ιδιαίτερα σε ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Το διηλεκτρικό είναι μια πολύ λεπτή ταινία από πλαστικό υλικό διαφόρων τύπων. Σαν οπλισμοί χρησιμοποιούνται μεταλλική ταινία ή επιμεταλλωμένη λεπτή πλαστική ταινία. Ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου διηλεκτρικού πλαστικού έχουμε τα εξής είδη πυκνωτών<sup>9</sup>:

- Ταινία από πολυεστέρα εμβαπτισμένη σε εποξική ρητίνη.
- Ταινία από πολυεστέρα και πολυπροπυλένιο εμβαπτισμένη σε εποξική ρητίνη.
- Πολυεστερικής ταινίας.
- Πυκνωτές λακαρισμένης επιμεταλλωμένης ταινίας.
- Πυκνωτές με διηλεκτρικό το προπυλένιο (polypropylene).
- Πυκνωτές με διηλεκτρικό το πολυστυρένιο (polystyrene).

---

### 1.2.2.4. Κεραμικοί πυκνωτές

---

Ο όρος κεραμικοί πυκνωτές περιλαμβάνει μια μεγάλη ομάδα πυκνωτών με διαφορετικές ιδιότητες αλλά με κοινό χαρακτηριστικό διηλεκτρικό που φτιάχνεται από κεραμικά οξείδια. Ανάλογα με το είδος του διηλεκτρικού υπάρχουν ανάλογες ιδιότητες και ποιότητες που σε μεγάλο βαθμό είναι από καλές έως πολύ καλές.

Η κυριότερη και σπουδαιότερη πρώτη ύλη για τα κεραμικά διηλεκτρικά είναι το οξείδιο του Τιτανίου (TiO). Για την κατασκευή των κεραμικών υλικών για τα διηλεκτρικά χρησιμοποιούνται μείγματα από οξείδια, συγκολλητική και

---

<sup>9</sup> Πάλλας Α. (1993), «Εφαρμοσμένα ηλεκτρονικά», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

συγκρατητική ύλη. Τα υλικά αυτά αφού υποστούν κατάλληλη επεξεργασία συμπιέζονται σε καλούπια ώστε να πάρουν επιθυμητές μορφές και στη συνέχεια ψήνονται σε θερμοκρασίες από 1100 μέχρι 1400° C.

Κατά το ψήσιμο οι κόκκοι του υλικού αντιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν κρυσταλλικές ενώσεις αποκτώντας έτσι τις επιθυμητές ιδιότητες του διηλεκτρικού. Το είδος του υλικού και η θερμική επεξεργασία καθορίζουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες τους. Τα κεραμικά υλικά στην συνέχεια καλύπτονται με στρώματα από παλλάδιο ή άργυρο ή νικέλιο σε λεπτότατα στρώματα τα οποία αποτελούν τους οπλισμούς, συγκολλούνται οι ακροδέκτες, βάφονται, μπαίνουν οι κωδικοί ένδειξης των στοιχείων λειτουργίας, τάση, χωρητικότητα, ανοχή κλπ, με χρώματα ή αριθμούς και γράμματα και αφού υποστούν τον τελευταίο έλεγχο δίνονται στο εμπόριο<sup>10</sup>.

**Εικόνα 2**  
**Κεραμικοί πυκνωτές**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

**1.2.2.5. Πυκνωτές τρίμερ**

---

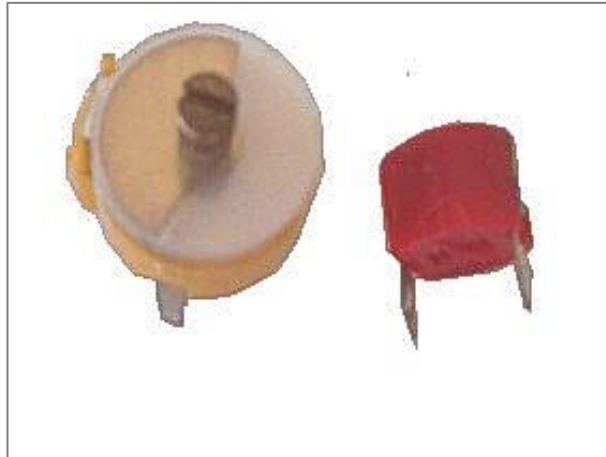
Οι πυκνωτές αυτοί αποτελούνται από δύο κεραμικούς δίσκους, που περιστρέφονται σε αντίθετη κατεύθυνση μεταξύ τους, έτσι ώστε, ο ένας να επικαλύπτει τον άλλο. Οι δύο αυτοί κεραμικοί δίσκοι - που αποτελούν το διηλεκτρικό του πυκνωτή - έχουν επίστρωση αργύρου που έχει επικολληθεί με ατμοποίηση σε σχήμα ημικυκλίου. Τα ημικύκλια αυτά αποτελούν τους οπλισμούς του πυκνωτή. Η

---

<sup>10</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

τιμή της χωρητικότητας (C) των μεταβλητών πυκνωτών παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της, όταν το κινητό και το ακίνητο φύλλο τους καλύπτει το ένα το άλλο<sup>11</sup>.

**Εικόνα 3**  
**Πυκνωτές τρίμερ**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

#### 1.2.2.6. Πυκνωτές μεταλλικού χάρτου (*metal paper*)

---

Η κατασκευή των πυκνωτών μεταλλικού χάρτου περιλαμβάνει<sup>12</sup>:

- 1) Οπλισμό μέταλλου.
- 2) Διηλεκτρικό, στενές λωρίδες χάρτου.
- 3) Περίβλημα από μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο κενό αέρος.

Οι στενές λωρίδες του χαρτιού με διαδικασία ατμοποίησης σε κενό αποκτούν ένα λεπτό στρώμα μετάλλου σαν επίστρωση. Οι μεταλλικές τώρα αυτές λωρίδες χάρτου τυλίγονται με τρόπο ώστε να προεξέχουν εναλλάξ η μία από την άλλη. Στις δύο μετωπικές πλευρές τοποθετούνται οι γέφυρες σύνδεσης που λέγονται «επαφές μετώπης» που οδηγούνται στους ακροδέκτες του πυκνωτή και κατόπιν γίνεται εμποτισμός με σκληρή ρητίνη αν ο πυκνωτής πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) ή ορυκτό πετρέλαιο αν ο πυκνωτής

---

<sup>11</sup>Electronic Circuits (2008), «Πυκνωτές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/pykνωτες.html>, ημερ. προσπέλασης 19/02/2009, Αθήνα

<sup>12</sup> Χατζόπουλος Α., Ιωακειμίδης Ε., Θειόκα Φ.(1994), «Ηλεκτρονικά εξαρτήματα: Θεωρία και ασκήσεις», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη



πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικό κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος (E.P.)

Οι πυκνωτές μεταλλικού χάρτου έχουν την ιδιότητα να αυτοεπουλώνουν σημεία ηλεκτρικής διάτρησης. Αυτό γίνεται γιατί ο σπινθήρας που δημιουργείται σε μια ηλεκτρική διάτρηση καίει τη μεταλλική επίστρωση γύρω του. Έτσι, μονώνονται τα σημεία του διηλεκτρικού υλικού που παρουσιάζουν το πρόβλημα.

Οι πυκνωτές, τέλος, του μεταλλικού χάρτου χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση και λειτουργία ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων (ΑΜΚ) και προστασία από παράσιτα κλπ.

---

#### *1.2.2.7. Πυκνωτές με διηλεκτρικό από συνθετική ύλη*

---

Η κατασκευή των πυκνωτών με διηλεκτρικό από συνθετική ύλη περιλαμβάνει οπλισμό από μεταλλικό χαρτί δύο όψεων που προέρχεται από διαδικασία ατμοποίησης, διηλεκτρικό φύλλο πολυπροπυλενίου και περίβλημα από μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο κενό αέρος. Το μεταλλικό χαρτί τυλίγεται μαζί με την συνθετική ύλη.

Οι ακροδέκτες σύνδεσης με το ηλεκτρικό κύκλωμα ενώνονται στους οπλισμούς του πυκνωτή με τις μετώπες επαφής - που υπάρχουν και στους πυκνωτές αυτούς - και κατόπιν γίνεται εμποτισμός με ορυκτό πετρέλαιο. Για την περίπτωση υπερφορτίσεων υπάρχει συρματίδιο ασφάλειας που λιώνει και διακόπτεται η λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος<sup>13</sup>.

---

#### *1.2.2.8 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές*

---

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές διακρίνονται σε πολωμένους, που η χρησιμοποίησή τους είναι δυνατή μόνο στο συνεχές ρεύμα και μη πολωμένους, που η χρησιμοποίησή τους είναι δυνατή τόσο στο συνεχές ρεύμα ΣΡ όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα ΕΡ.

---

<sup>13</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Η κατασκευή των πολωμένων ηλεκτρολυτικών πυκνωτών είναι από φύλλο αλουμινίου με δυνατότητα οξειδωσης και το περίβλημα είναι μεταλλικό κουτί.

Οι μη πολωμένοι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αποτελούν συνδυασμό δύο συνδεμένων σε σειρά επιμέρους πυκνωτών, γι' αυτό και η χωρητικότητα τους είναι η μισή από εκείνη που παρουσιάζει ο αντίστοιχος πολωμένος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής<sup>14</sup>.

---

#### 1.2.2.9. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου

---

Κατασκευάζονται από λεπτά ελάσματα αλουμινίου υψηλής καθαρότητας. Μεταξύ των ελασμάτων παρεμβάλλεται ένα λεπτό στρώμα οξειδίου και ένα διηλεκτρικό υλικό όπως το χαρτί. Το διάλυμα που χρησιμοποιείται (ηλεκτρολύτης), στην δημιουργία του οξειδίου είναι το βορικό οξύ ή τρυγικό κάλιο. Η ταινία αλουμινίου είναι πάρα πολύ λεπτή πάχους 20-40μm. Η άνοδος του πυκνωτή έχει στην μία επιφάνειά της το οξείδιο. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια του οξειδίου τόσο αυξάνεται η χωρητικότητα του πυκνωτή.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου είναι κυλινδρικής μορφής και υπάρχουν είτε σε οριζόντια μορφή είτε σε κάθετη μορφή. Τα μεγάλα τους πλεονεκτήματα είναι η μεγάλες χωρητικότητες για τις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν, από 1μF έως πολλές χιλιάδες μF. Μειονέκτημά τους είναι ότι δεν κατασκευάζονται σε πολύ υψηλές τάσεις ανάλογα με την χωρητικότητά τους και οι πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας σε μεγάλη τάση έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Οι τάσεις για τις οποίες κατασκευάζονται δεν ξεπερνούν τα 450V, για χωρητικότητες μέχρι 470μF.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου, παρουσιάζουν διαρροές και μείωση της ονομαστικής τους χωρητικότητας και του φορτίου που μπορεί να συγκρατήσουν με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να αλλάζονται στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται. Η διαρροή είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει συχνά σε βλάβες πυκνωτών. Στην περίπτωση αυτή έχουμε κακή μόνωση του διηλεκτρικού ανάμεσα στους οπλισμούς, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται

---

<sup>14</sup> Electronic Circuits (2008), «Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/pyknwtes.html>, ημερ. προσπέλασης 16/02/2009, Αθήνα

βραχυκυκλώματα στο κύκλωμα. Επίσης η τάση στα άκρα του δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τάση που δίνει ο κατασκευαστής, διότι υπερθερμαίνεται και καταστρέφεται ο πυκνωτής.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου είναι κατάλληλοι για χρήση σε τροφοδοτικά κυρίως για την εξομάλυνση της τροφοδοσίας, αλλά και σε άλλα κυκλώματα που είναι απαραίτητη η μείωση του θορύβου της dc τάσης<sup>15</sup>.

**Εικόνα 4**  
**Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

### 1.3. Δίοδοι

---

Η δίοδος είναι μια διάταξη από ημιαγωγικό υλικό το οποίο επιτρέπει την διέλευση ροής ρεύματος μόνο από την μια κατεύθυνση, ανάλογα με την πόλωσή της. Κατασκευάζεται από ημιαγωγικά υλικά, όπως είναι το γερμάνιο και το πυρίτιο και αποτελείται από δύο πόλους, την άνοδο και την κάθοδο. Το γερμάνιο και το πυρίτιο είναι υλικά τα οποία στις κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος συμπεριφέρονται σαν ημιαγωγοί, ενώ σε πολύ μικρές θερμοκρασίες η αγωγιμότητά τους μειώνεται.

Ανάλογα με την πρόσμιξη των ημιαγωγών αυτών μπορεί να επιτευχθεί μεταβολή της αγωγιμότητας του ημιαγωγού στοιχείου. Έτσι, χρησιμοποιώντας μια

---

<sup>15</sup>Electronic Circuits (2008), «Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/pyknwtes.html>, ημερ. προσπέλασης 16/02/2009, Αθήνα

μικρή ποσότητα πεντασθενούς στοιχείου, όπως είναι το αρσενικό ή ο φώσφορος, επιτυγχάνεται αύξηση της αγωγιμότητας του ημιαγωγού.

Εάν ενωθεί ένας ημιαγωγός τύπου N και ένας ημιαγωγός τύπου P τότε προκύπτει μια δίοδο επαφής. Ο ένας ακροδέκτης της διόδου αποτελεί την άνοδο και ο άλλος ακροδέκτης είναι η κάθοδος. Η ροή του ρεύματος μέσα από την δίοδο, επιτυγχάνεται όταν πολωθεί ορθά η δίοδος, δηλαδή όταν η άνοδος έχει θετικό δυναμικό και η κάθοδος αρνητικό. Στην πόλωσή της η δίοδος παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά όπως είναι η χωρητικότητα και η αντίσταση επαφής της διόδου. Η χωρητικότητα επαφής είναι μια πολύ μικρή χωρητικότητα της τάξεως μερικών pF, όπου η τιμή της εξαρτάται από την πόλωσή της και το κύκλωμα στο οποίο χρησιμοποιείται.

Αν συνδεθεί ανάστροφα η πολικότητα της πηγής με την δίοδο, δηλαδή ο θετικός ακροδέκτης με τον ημιαγωγό τύπου N και ο αρνητικός ακροδέκτης με τον ημιαγωγό τύπου P, τότε τα ηλεκτρόνια θα έλκονται από το θετικό φορτίο της πηγής και οι οπές από το αρνητικό φορτίο της πηγής. Στην περίπτωση αυτή η ζώνη αγωγιμότητας στην επαφή P-N μεγαλώνει με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ροή ρεύματος.

Ανάλογα λοιπόν με τον τρόπο επαφής της διόδου υπάρχουν δυο μεγάλες κατηγορίες, οι δίοδοι ακίδας και οι δίοδοι επαφής φτιαγμένες από Ge ή Si και οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πλείστες εφαρμογές στην ηλεκτρονική από dc μέχρι υψηλές συχνότητες<sup>16</sup>.

---

### **1.3.1. Κατηγορίες διόδων**

---

---

#### **1.3.1.1. Δίοδοι ακίδας**

---

Οι δίοδοι ακίδας κατασκευάζονται από ένα λεπτό σύρμα βολφραμίου ή χρυσού το οποίο ακουμπά πάνω σε μια πλάκα από ημιαγωγό γερμανίου ή πυριτίου τύπου N. Η πλάκα του ημιαγωγού στηρίζεται σε μια μεταλλική υποδοχή. Γύρω από την ακίδα τοποθετείται μικρή ποσότητα ημιαγωγού τύπου P. Μεταξύ της ακίδας και του ημιαγωγού τύπου P διαβιβάζεται ισχυρό ρεύμα, η θερμότητα του οποίου

---

<sup>16</sup> Πάλλας Α. (1993), «Εφαρμοσμένα ηλεκτρονικά», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

δημιουργεί έναν κρύσταλλο τύπου P που περιλαμβάνει και την ακίδα. Έτσι δημιουργείται μια κρυσταλλική επαφή PN ή δίοδο ακίδας.

Οι δίοδοι ακίδας χρησιμοποιούνται ως φωράτριες σε κυκλώματα δεκτών υψηλών συχνοτήτων. Έχουν την ικανότητα να εργάζονται σε υψηλές συχνότητες και χρησιμοποιούνται για την ανόρθωση εναλλασσόμενων ρευμάτων υψηλών συχνοτήτων και πολύ χαμηλού πλάτους. Κατασκευάζονται για να λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες δεν ξεπερνούν τους 75°C, ενώ το ρεύμα ορθής φοράς είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων mA<sup>17</sup>.

**Εικόνα 5**  
**Δίοδοι ακίδας**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

### 1.3.1.2. Δίοδοι επαφής

---

Οι δίοδοι επαφής πυριτίου κατασκευάζονται βασικά με τις μεθόδους πρόσμειξης, διάχυσης και planar. Στην θέρμανση και στο στάδιο της ψύξης παρατηρείται διάχυση ατόμων πυριτίου στην μάζα του αλουμινίου οπότε δημιουργείται σαφής περιοχή επαφής NP. Επειδή όμως υπάρχει μεγάλη επιφάνεια της επαφής η μέθοδος αυτή κάνει τις διόδους κατάλληλες για υψηλά ρεύματα λειτουργίας με μεγάλες ανοχές.

Με την μέθοδο διάχυσης η σημερινή τεχνολογία χρησιμοποιεί N υπόστρωμα πυριτίου το οποίο ντοπάρει με P205 και το κάνει πιο εμπλουτισμένο στρώμα τύπου

---

<sup>17</sup> Kaufman - Seidman A. (1992), «Εγχειρίδιο ηλεκτρονικής», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

N+. Στην συνέχεια απομακρύνει το στρώμα αυτό επιλεκτικά και δημιουργεί καινούργια διάχυση με βόριο οπότε κάνει την περιοχή P. Η πλάκα σφραγίζεται και από τις δύο πλευρές με ωμικές επαφές και κόβεται σε μικρά κομμάτια το μέγεθος των οποίων καθορίζει την ισχύ της διόδου και την χωρητικότητα της. Οι παραγόμενες διόδοι είναι κατάλληλες και μεγάλες ισχύος.

Στη μέθοδο planar ή επιπεδική μέθοδο, μια πλάκα N-ντοπαρισμένου πυριτίου εξαιρετικά λεία, αφού οξειδωθεί επιφανειακά σε φούρνο με οξυγόνο ή υδρατμούς, επιστρώνεται με φωτοευαίσθητο υλικό και καλύπτεται με μάσκα. Το σύστημα τοποθετείται σε πηγή φωτισμού όπου τα μη καλυπτόμενα από την μάσκα σημεία φωτίζονται. Στη συνέχεια, αφαιρείται η μάσκα και η πλάκα τοποθετείται σε λουτρό νιτρικού οξέος, οπότε στα σημεία που φωτίστηκε η πλάκα αφαιρείται το στρώμα του οξειδίου (SiO<sub>2</sub>). Η πλάκα ντοπαρείται με τρισθενή στοιχεία και στα σημεία που δεν υπάρχει οξείδιο δημιουργείται ένωση NP. Μετά κόβονται σε μικρά κομμάτια στα οποία τοποθετούνται ακροδέκτες και έτσι δημιουργούνται έτοιμες διόδοι με μικρές διαστάσεις και μικρές χωρητικότητες. Μια παραλλαγή της μεθόδου planar είναι η λεγόμενη επιταξιακή επιπεδική μέθοδος (Epitaxial planar) κατά την οποία στην N - ντοπαρισμένη επιφάνεια δημιουργείται ακόμη μια N+ επιφάνεια<sup>18</sup>.

---

### 1.3.1.3. Δίοδοι Zener

---

Οι διόδοι zener είναι συνήθως διόδοι επαφής με πολύ πλούσια νοθεία. Οι διόδοι Zener είναι διόδοι που περιέχουν μεγάλο ποσοστό προσμίξεων και κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγό πυριτίου. Η διόδος Zener σε αντίθεση με τους άλλους τύπους διόδων λειτουργεί κατά την ανάστροφη φορά. Όταν μια διόδος Zener πολωθεί κατά την ορθή φορά συμπεριφέρεται σαν μια κοινή διόδος πυριτίου. Όταν η τάση πόλωσης γίνει μεγαλύτερη από 0,6 Volt, η διόδος άγει αρκετό ρεύμα. λειτουργία της στηρίζεται στο φαινόμενο avalance (χιονοστιβάδα) για τάσεις λειτουργίας μέχρι 3Volt<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

<sup>19</sup> Electronic Circuits (2008), «Δίοδοι», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/diodoi.html>, ημερ. προσπέλασης 19/01/2009, Αθήνα

**Εικόνα 6**  
**Δίοδοι Zener**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

**1.3.1.4. Δίοδοι LED (Light Emmitihg Diodes, φωτοεκπομποί δίοδοι)**

---

Οι δίοδοι led εκπέμπουν φως στην ορθή πόλωσή τους και κατασκευάζονται για διάφορα χρώματα όπως κόκκινο, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, μπλε, σε διάφορα σχήματα και διαστάσεις. Η αρχή λειτουργίας των leds βασίζεται στο γεγονός πως στην ορθή πόλωσή τους δημιουργούνται επανασυνδέσεις οπών και ηλεκτρονίων στην επαφή P-N της διόδου. Με τις επανασυνδέσεις οπών και ηλεκτρονίων απελευθερώνεται ενέργεια από τα ηλεκτρόνια με την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ανάλογη με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την δίοδο led. Την μέγιστη ένταση του ρεύματος την ορίζει ο κατασκευαστής, γι' αυτό και η πόλωση της διόδου γίνεται με την σύνδεση μιας αντίστασης στο ένα άκρο του led, που η τιμή υπολογίζεται σε συνάρτηση με την τάση της πηγής σύμφωνα με την σχέση  $R=(V-V_d)/I_d$ , όπου V η τάση της πηγής,  $V_d$  η τάση λειτουργίας του led η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή, (περίπου 1,8V) και  $I_d$  το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο led<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Electronic Circuits (2008), «Δίοδοι», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/diodoi.html>, ημερ. προσπέλασης 19/01/2009, Αθήνα

**Εικόνα 7**  
**Δίοδοι LED**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

**1.3.1.5. Δίοδοι σήραγγας (Tunnel)**

---

Η δίοδος σήραγγας ή δίοδος Tunnel ή δίοδος Esaki (Ιάπωνας ερευνητής που μελέτησε το φαινόμενο σήραγγας) είναι μια δίοδος επαφής με ισχυρή νοθεία (κοινοί δίοδοι IO16 άτομα νοθείας σε κάθε  $\text{cm}^3$ , δίοδος tunnel IO19 άτομα νοθείας σε κάθε  $\text{cm}^3$ ). Οι δίοδοι σήραγγας χαρακτηρίζονται έτσι από το φαινόμενο «σήραγγας» που παρουσιάζουν σύμφωνα με το οποίο οι ελεύθεροι φορείς (ηλεκτρόνια και οπές) υπερνικούν το δυναμικό φραγμού δίχως να έχουν την ενέργεια που απαιτείται γι' αυτό. Αυτό επιτυγχάνεται κατασκευαστικά από ένα υψηλό ποσοστό προσμίξεων το οποίο είναι κατά εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο από τα συνηθισμένα δίοδια.

Το πάχος της επαφής είναι πολύ μικρό της τάξης του 1/10, δεκάδες φορές μικρότερο των κοινών δίοδων. Αυτό το γεγονός επιτρέπει πολλά ηλεκτρόνια να διαπερνούν την περιοχή φραγμού χωρίς την απαιτούμενη ενέργεια. Έτσι στην καμπύλη I/V, της δίοδου παρουσιάζεται το φαινόμενο της καταβύθισης, δηλαδή της αρνητικής αντίστασης. Στη συνέχεια όταν ξεπεραστεί το φαινόμενο σήραγγας η δίοδος tunnel συμπεριφέρεται σαν κοινή δίοδος με πολύ μικρό ρεύμα, λόγω του μικροσκοπικού της μεγέθους.

Το ημιαγωγό υλικό που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το γερμάνιο ή το πυρίτιο, αλλά και άλλα υλικά τα οποία εμφανίζουν μικρές τιμές ενεργούς μάζας και



διηλεκτρικής σταθεράς. Οι δίοδοι σήραγγας χρησιμοποιούνται σε ενισχυτές χαμηλού θορύβου, σε ταλαντωτές και σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων<sup>21</sup>.

---

#### 1.3.1.6. Δίοδοι PIN

---

Οι δίοδοι PIN είναι ενώσεις δύο διαφορετικών ημιαγωγών τύπου P και N μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται ένας καθαρός ανόθευτος κρύσταλλος πυριτίου. Η διάταξη αυτή των κρυστάλλων, στον όρο PIN το P είναι positive το N negative και το I intrinsic (ενδογενής χωρίς προσμείξεις) το ενδογενές στρώμα κρυσταλλικού πυριτίου βρίσκεται ανάμεσα στους κρυστάλλους N και P και βοηθάει το στοιχείο να πάρει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Ειδικότερα ο καθαρός κρύσταλλος χάρις στις δονήσεις των ατόμων του πυριτίου απορροφά και εξουδετερώνει τους φορείς του P κρυστάλλου με αποτέλεσμα να κινούνται μόνο ηλεκτρόνια. Έτσι ο ανάστροφος χρόνος αποκατάστασης είναι της τάξης των psec με αποτέλεσμα η διάδος PIN να είναι κατάλληλη για χρήσεις σε συχνότητες μικροκυμάτων και συγκεκριμένα σε κυκλώματα συντονισμένων εξασθενητών, περιορισμού, σε κυκλώματα μετατόπισης φάσης και σε διακόπτες<sup>22</sup>.

---

#### 1.3.1.7. Δίοδοι μεταβλητής χωρητικότητας (Varicap)

---

Οι δίοδοι μεταβλητής χωρητικότητας Varactor (Variable capacitor) ή varicap είναι δίοδοι επαφής στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της χωρητικότητας που παρουσιάζει η περιοχή της ένωσης PN. Είναι γνωστό ότι η ζώνη φραγμού γίνεται ελάχιστη ή μηδενίζεται όταν η διάδος πολώνεται ορθά και γίνεται μέγιστη όταν πολώνεται ανάστροφα. Όλες οι δίοδοι παρουσιάζουν χωρητικότητα στην ένωση τους, όλες όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν varactor γιατί εκτός από τις zener έχουν πολύ μικρές χωρητικότητες.

---

<sup>21</sup> Electronic Circuits (2008), «Δίοδοι», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/diodoi.html>, ημερ. προσπέλασης 19/01/2009, Αθήνα

<sup>22</sup> Παπακωνσταντίνου Χ. (1996), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και στοιχεία ηλεκτρονικού σχεδίου», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Οι δίοδοι varactor κατασκευάζονται είτε με την μέθοδο της βαθμιαίας ανάπτυξης (rate crown) είτε με την μέθοδο της διάχυσης (diffusion) από πυρίτιο και πρόσφατα από ένωση GaAs. Έχουν αυξημένη νοθεία στην περιοχή της ένωσης πράγμα που τις κάνει ικανές να παρουσιάζουν μεγάλη χωρητικότητα. Στην περίπτωση των διόδων βαθμιαίας ανάπτυξης, η χωρητικότητα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της ανάστροφης τάσης, ενώ στην περίπτωση των διόδων varactor διάχυσης μεταβάλλεται ανάλογα με την κυβική ρίζα της ανάστροφης τάσης.

Είναι κατασκευασμένες να εργάζονται σε πολύ υψηλές συχνότητες και χαρακτηρίζονται από την περιοχή συχνοτήτων που εργάζονται, από την μέγιστη τάση λειτουργίας τους και την μεταβολή της χωρητικότητάς τους ανά Volt.

Οι δίοδοι varactor είναι η καλύτερη λύση για κυκλώματα υψηλής συχνότητας, όπου απαιτείται μια μεταβλητή χωρητικότητα για παράδειγμα. γεννήτριες σάρωσης, κυκλώματα επιλογής συχνοτήτων (Tuner), δέκτες τηλεόρασης, ραδιοφωνικοί δέκτες κλπ. όπου η απλότητα του κυκλώματος και η απόδοση παίζουν βασικό ρόλο<sup>23</sup>.

---

#### 1.4. Τρανζίστορ

---

Το τρανζίστορ εμφανίστηκε το 1948 από τους Bardeen, Britain και Shokley που το 1956 πήραν το Nobel φυσικής γι' αυτήν την δημιουργία τους. Αρχικά κατασκευάστηκε με την τεχνική της ακίδας και μετά με την μέθοδο της επαφής. Σήμερα κατασκευάζεται με πολλούς άλλους τρόπους. Ο όρος τρανζίστορ (transistor) προέρχεται από τις λέξεις transfer resistor που σημαίνει μεταφερόμενη αντίσταση και στα ελληνικά αρχικά αναφερόταν με τον όρο κρυσταλλοτρίοδος για να επικρατήσει τελικά το τρανζίστορ. Αποτελείται από τρεις ακροδέκτες οι οποίοι ονομάζονται εκπομπός (e, emitter), βάση (b, base) και συλλέκτης (c, collector) και έχει πλήρως αντικαταστήσει τις λυχνίες. Μετά από τις λυχνίες ήταν η δεύτερη μεγάλη εφεύρεση του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην ηλεκτρονική.

Το τρανζίστορ επαφής είναι μία διάταξη η οποία αποτελείται από δύο ημιαγωγούς, έναν τύπου PN και έναν τύπου NP. Για να λειτουργήσει το τρανζίστορ σαν ενισχυτής πρέπει η ένωση βάσης - συλλέκτη να πολώνεται ανάστροφα και η

---

<sup>23</sup> Electronic Circuits (2008), «Δίοδοι», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/diodoi.html>, ημερ. προσπέλασης 10/02/2009, Αθήνα

ένωση βάσης - εκπομπού προωστικά. Τα τρανζίστορ έχουν αντικαταστήσει πλήρως τις λυχνίες κενού γιατί έχουν πολλά πλεονέκτημα και πολύ λίγα μειονεκτήματα<sup>24</sup>.

**Εικόνα 8**  
**Τρανζίστορ**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

#### **1.4.1. Οι κατηγορίες των τρανζίστορ**

---

Τα τρανζίστορ κατατάσσονται σε πολλές κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη διάφορα μεγέθη και παραμέτρους. Έτσι, υπάρχουν κατηγορίες τρανζίστορ<sup>25</sup>:

- 1) Ανάλογα με το υλικό κατασκευής που συνήθως είναι το γερμάνιο και το πυρίτιο.
- 2) Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής που συνήθως είναι τα τρανζίστορ κράματος διάχυσης, planar, epitaxial και ανάπτυξης.
- 3) Ανάλογα με τους ακροδέκτες. Έτσι υπάρχουν τρανζίστορ με τρεις, τέσσερις και πολλούς ακροδέκτες. .
- 4) Ανάλογα με την συχνότητα σε τρανζίστορ χαμηλής και τρανζίστορ υψηλής συχνότητας.
- 5) Ανάλογα με την χρήση σε τρανζίστορ ενισχυτές και τρανζίστορ διακόπτες.
- 6) Ανάλογα με το είδος κατασκευής σε διπολικά τρανζίστορ BJT, σε τρανζίστορ JFET, MOSFET, MESFET και μονοεπαφικά τρανζίστορ UJT.

---

<sup>24</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

<sup>25</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

---

**1.4.2. Μέθοδοι κατασκευής τρανζίστορ**

---

Οι κυριότερες μέθοδοι κατασκευής τρανζίστορ είναι οι ακόλουθες<sup>26</sup>:

- 1) Τρανζίστορ κράματος.. Η κατασκευή των τρανζίστορ αυτών βασίζεται στο γεγονός πως πάνω σε ένα κρύσταλλο γερμανίου τύπου P τοποθετείται δίσκος κράματος ψευδαργύρου, μόλυβδου ή χρυσού με προσμίξεις από αρσενικό ή αντιμόνιο. Η διάταξη αυτή θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία γύρω στους 500°C και μετά που ψύχεται το κράμα εισχωρεί στον κρύσταλλο γερμανίου ή πυριτίου. Έτσι για κατασκευή τρανζίστορ PNP, χρησιμοποιείται μια πλάκα ημιαγωγού τύπου N όπου στις δυο πλευρές του τοποθετούνται δίσκοι από τρισθενές στοιχείο για παράδειγμα. ίνδιο. Η διάταξη αυτή θερμαίνεται περίπου στους 500°C με αποτέλεσμα το τρισθενές στοιχείο να λιώνει και να ενώνεται σχηματίζοντας στις δύο πλευρές του κρυστάλλου τύπου N, περιοχές τύπου P. Οι ακροδέκτες τοποθετούνται κατά την θέρμανση της διάταξης και στο τέλος ολόκληρη η διάταξη τοποθετείται στο περίβλημά της.
- 2) Τρανζίστορ διαχύσεως. Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η διάχυση ατόμων άλλου στοιχείου μέσα σε ένα ημιαγωγό. Εάν χρησιμοποιηθεί ένα ημιαγωγό στοιχείο και προσμιχθεί κάτω από κατάλληλες συνθήκες σε ατμούς πεντασθενούς στοιχείου πρόσμιξης τότε επιτυγχάνεται η μέθοδος της διαχύσεως. Έτσι για την κατασκευή τρανζίστορ διαχύσεως χρησιμοποιείται μια πλάκα γερμανίου τύπου P και διαχέονται άτομα ινδίου ή γαλλίου, σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου N. Στην συνέχεια σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους τοποθετούνται δύο δίσκοι μόλυβδου με προσμίξεις από αντιμόνιο και αργίλιο. Η διάταξη θερμαίνεται και σχηματίζει μια περιοχή τύπου P που είναι ο εκπομπός του τρανζίστορ και κάτω από τον άλλο δίσκο σχηματίζεται μια ένα στρώμα τύπου N και αποτελεί την βάση. Η αρχική πλάκα του ημιαγωγού τύπου P που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί τον συλλέκτη του τρανζίστορ.
- 3) Τρανζίστορ ανάπτυξης. Με αυτή την μέθοδο χρησιμοποιείται ένα καθαρό κρύσταλλο γερμανίου του οποίου η μια πλευρά βυθίζεται σε λειωμένο κρύσταλλο γερμανίου. Στην συνέχεια με την ανύψωση του καθαρού

---

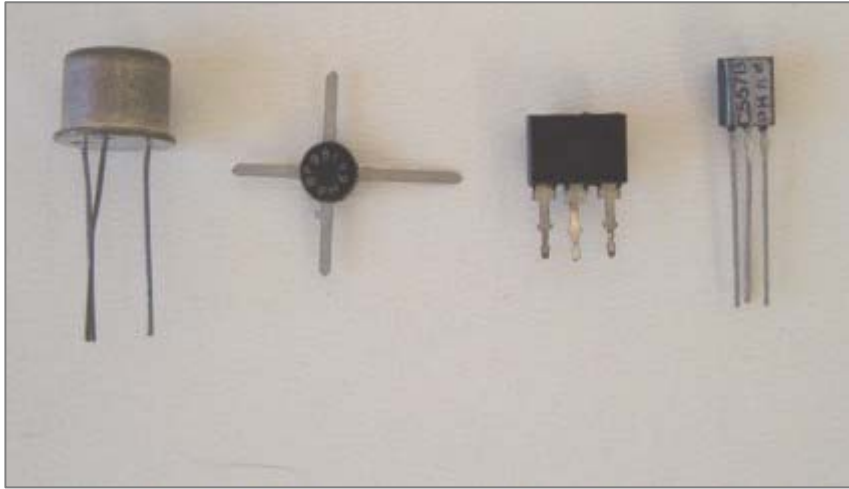
<sup>26</sup> Electronic Circuits (2008), «Τρανζίστορ», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/transistors.html>, ημερ. προσπέλασης 23/02/2009, Αθήνα

κρυστάλλου παρασύρονται άτομα του λειωμένου κρυστάλλου τα οποία ψύχονται και στερεοποιούνται πάνω σε αυτόν, με αποτέλεσμα την δημιουργία επαφών PN. Με την μέθοδο αυτή κατασκευάζονται τρανζίστορ για χρήση σε υψηλές συχνότητες.

- 4) Τρανζίστορ πλανάρ. Είναι μια τεχνική με την οποία κατασκευάζονται σήμερα πολλά τρανζίστορ. Χρησιμοποιείται φέτα πυριτίου τύπου N, η οποία θερμαίνεται σε περισσότερους από 1000°C και εμπλουτίζεται με ατμό ο οποίος δημιουργεί ένα στρώμα διοξειδίου του πυριτίου στην επιφάνειά του. Με λιθογραφική μέθοδο δημιουργείται ένα άνοιγμα για να κατασκευαστεί η βάση. Ο ημιαγωγός στην συνέχεια θερμαίνεται πάλι και εμπλουτίζεται με τρισθενές στοιχείο, το οποίο εξατμίζεται από την θερμοκρασία και διαχέεται στο άνοιγμα που δημιουργήθηκε για την βάση του τρανζίστορ. Αυτή είναι η περιοχή της βάσης τύπου P. Στην συνέχεια με κατάλληλη επεξεργασία σχηματίζεται ένα νέο άνοιγμα, μέσα στο οποίο θα δημιουργηθεί μια περιοχή τύπου N με την μέθοδο της διάχυσης, που θα αποτελέσει τον εκπομπό και χρησιμοποιώντας πεντασθενές στοιχείο, για παράδειγμα, φώσφορος. Στην συνέχεια δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα αλουμινίου για τις συνδέσεις των ακροδεκτών και η όλη διάταξη τοποθετείται σε περίβλημα το οποίο μπορεί να είναι μια μεταλλική θήκη ηλεκτρικά αγωγίμη με τον συλλέκτη του τρανζίστορ. Τα τρανζίστορ τα οποία κατασκευάζονται με αυτή την μέθοδο έχουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα, όπως μικρό μέγεθος, μικρές ενδοχωρητικές συχνότητες και λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες.
- 5) Επιταξιακό τρανζίστορ. Με την τεχνική αυτή δημιουργούνται πολύ λεπτές περιοχές P και N με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εσωτερικές αντιστάσεις. Οι περιοχές αυτές δημιουργούνται στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού με υλικά πρόσμιξης υπό μορφή αερίου. Έτσι κατασκευάζονται τα επιταξιακά τρανζίστορ πλανάρ και τα επιταξιακά τρανζίστορ μέζα, τα οποία έχουν πλακίδιο ημιαγωγού τραπεζοειδούς μορφής. Τα επιταξιακά τρανζίστορ κατασκευάζονται για χρήση σε υψηλές συχνότητες και είναι κατάλληλα σε κυκλώματα τηλεοράσεων, κτλ.

**Εικόνα 9**

**Τρανζίστορ υψηλών συχνοτήτων χαμηλής ισχύος**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

### **1.5. Οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων**

---

Στα πρώτα χρόνια των ψηφιακών κυκλωμάτων, τα σήματα περνούσαν από τη μια βαθμίδα στην άλλη, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς διόδων και τρανζίστορ. Για το λόγο αυτό, ονομάστηκαν κυκλώματα DTL (Diode Transistor Logic). Αν αντί για τις διόδους χρησιμοποιηθούν αντιστάτες, τότε προκύπτουν τα κυκλώματα RTL (Resistor Transistor Logic). Σήμερα, οι πιο δημοφιλείς οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι δύο ενώ υπάρχει ακόμα μια τρίτη σε χρήση, με πικρότερο αριθμό εφαρμογών, όπως είναι οι υπολογιστές υψηλής ταχύτητας. Οι οικογένειες αυτές είναι οι TTL (Transistor Transistor Logic), CMOS Complementary Metal Oxide Semiconductor και ECL (Emitter Coupled Logic)<sup>27</sup>.

Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) μπορεί να είναι ισοδύναμο με δεκάδες ή εκατοντάδες χωριστά ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Τα ψηφιακά IC, όπως είναι οι μικροεπεξεργαστές μπορεί να ισοδυναμούν με χιλιάδες ή εκατοντάδες χιλιάδες εξαρτήματα. Τα IC εξοικονομούν χώρο και χρήμα και είναι μια επανάσταση στην ηλεκτρονική βιομηχανία.

---

<sup>27</sup> Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος II, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αναπτύχθηκαν το 1958. Έχουν χαρακτηριστεί σαν η σημαντικότερη τεχνολογική ανάπτυξη του αιώνα, γιατί επέτρεψαν στα ηλεκτρονικά να αναπτυχθούν με ένα καταπληκτικό ρυθμό, με μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης τα ψηφιακά ηλεκτρονικά. Η ανάπτυξη των γραμμικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων καθυστέρησε σε σχέση με τα ψηφιακά IC για τα πρώτα 10 χρόνια. Τελευταία στα γραμμικά IC έχει δοθεί περισσότερη προσοχή και ένας ευρύς αριθμός διαφόρων IC είναι τώρα διαθέσιμος για εφαρμογές.

Τα ηλεκτρονικά έχουν αναπτυχθεί ταχύτατα με διάφορους στόχους, ένας από τους οποίους είναι η συνεχής πρόοδος των χαρακτηριστικών με κόστος που να μειώνεται με τον χρόνο. Ένας άλλος στόχος της ηλεκτρονικής είναι τα κυκλώματα και τα συστήματα να γίνουν περισσότερο αξιόπιστα με το πέρασμα του χρόνου. Τα IC μπορεί να πει κανείς ότι έχουν πετύχει αυτούς τους στόχους.

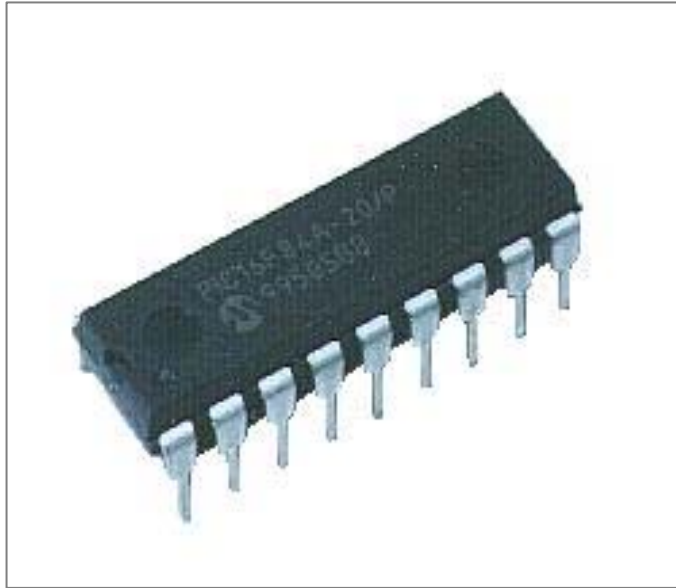
Τα συνηθισμένα κυκλώματα χρησιμοποιούν ξεχωριστές αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους, τρανζίστορ και άλλα εξαρτήματα που ονομάζονται διακριτά στοιχεία, για να διαμορφώσουν την λειτουργία τους. Αυτά τα διακριτά στοιχεία, αλλά και ομάδες από αυτά συνδέονται μεταξύ τους. Η πιο συνηθισμένη μορφή συγκροτήματος αυτών των στοιχείων είναι τα τυπωμένα κυκλώματα. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή αυξάνει το κόστος κατασκευής, καθώς οι πλακέτες, η συγκρότηση τους, οι κολλήσεις και οι έλεγχοι το κάνουν υψηλό.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αφήνουν τις συσκευές να απαιτούν λίγες ρυθμίσεις που και αυτές γίνονται στις βιομηχανίες. Έτσι επειδή οι ευθυγραμμίσεις είναι δαπανηρές, με τον περιορισμό τους το κόστος μειώνεται ακόμη παραπάνω. Τα μεταβαλλόμενα εξαρτήματα είναι γενικά ακριβότερα από ότι τα σταθερά, οπότε αν κάποια από αυτά εξαλειφθούν με τα IC, οι συσκευές αποκτούν περισσότερη αξιοπιστία με λιγότερη δαπάνη.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα μπορούν επίσης να αυξήσουν την απόδοση, αφού η λειτουργία ενός συνεπτυγμένου εξαρτήματος είναι καλύτερη από αυτήν που θα είχαμε αν τα εξαρτήματα αυτά ήταν σκορπισμένα. Ένα καλό παράδειγμα είναι οι μοντέρνοι ρυθμιστές τάσης.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα διατίθενται σε διάφορους τύπους συσκευασίας. Οι συσκευασίες αυτές που φαίνονται, εκτός από τις TO-3 και TO-220, χρησιμοποιούνται από τα γραμμικά και από τα ψηφιακά IC.

**Εικόνα 10**  
**Ολοκληρωμένο κύκλωμα**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

### **1.5.1. Οικογένεια TTL**

---

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που ανήκουν σε αυτή την οικογένεια, είναι τα εξής<sup>28</sup>:

- 1) Λειτουργούν με τάση 5.0V, με ανοχή  $\pm 0,25V$ .
- 2) Απαιτούν σχετικά μεγάλη ισχύ για τη λειτουργία τους.
- 3) Κάθε ανοικτή είσοδος θεωρείται ότι έχει προσδεθεί στη λογική τιμή 1.
- 4) Τα κατώφλια λογικής είναι κάτω από τα 0.8V για τη λογική τιμή 0 και πάνω από τα 2,4V για τη λογική τιμή 1.
- 5) Λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες.

Η τάση τροφοδοσίας των TTL πρέπει να είναι σταθεροποιημένη στα 5,0V. Στην πραγματικότητα η τάση μπορεί να κυμαίνεται από τα 4,75V μέχρι τα 5,25V. Η λειτουργία των ολοκληρωμένων αυτών, έξω από τη συγκεκριμένη περιοχή, έχει σαν αποτέλεσμα την παρουσία ανεπιθύμητων τασικών αιχμών, στις εξόδους τους. Αυτό είναι πρόβλημα, ιδιαίτερα εάν χρησιμοποιούνται διαιρέτες συχνότητας ή κωδικοποιητές.

---

<sup>28</sup> Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος II, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα



Κατά την κανονική λειτουργία ενός κυκλώματος εξόδου TTL, σε διάταξη στήλης, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή παλμών, κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας ( $V_{cc}$ ). Για το λόγο αυτό, στα κυκλώματα TTL χρησιμοποιούνται πολλοί αποξευκτικοί πυκνωτές. Η ιδανική περίπτωση είναι, ένας αποξευκτικός πυκνωτής για κάθε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Η βασική οικογένεια TTL είναι αυτή με τον τύπο 74XX, η οποία διαθέτει τις μεγαλύτερες παραλλαγές λογικών λειτουργιών. Σε αυτά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται διπολικά τρανζίστορ και σε κανονική λειτουργία, οδηγούνται στον κόρο. Η σειρά αυτή υπάρχει και σε στρατιωτικές προδιαγραφές, οπότε χαρακτηρίζεται από τον κωδικό 54XX. Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας τους είναι οι 35MHz.

Η σειρά 74HXX, περιλαμβάνει ολοκληρωμένα κυκλώματα ισχύος, τα οποία λειτουργούν σε λίγο μεγαλύτερη συχνότητα, μέχρι τους 50MHz. Στη σειρά 74SXX, χρησιμοποιούνται δίοδοι Σότκι (Schottky). Με τις διόδους αυτές, αποφεύγεται ο μεγάλος κορεσμός των εσωτερικών διπολικών τρανζίστορ. Με αυτό τον τρόπο, τα τρανζίστορ μπορούν να αλλάζουν πολύ γρήγορα κατάσταση, αφού δεν απαιτείται να σπαταληθεί χρόνος, ώστε να βγουν από την κατάσταση κορεσμού. Η κύρια χρήση αυτών των διόδων, είναι να ανεβεί η συχνότητα

---

### **1.5.2. Οικογένεια CMOS**

---

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που ανήκουν σε αυτή την οικογένεια, είναι τα εξής<sup>29</sup>:

- 1) Λειτουργούν με τάσεις από τα 3V μέχρι τα 18V.
- 2) Απαιτούν μικρή ισχύ για τη λειτουργία τους.
- 3) Κάθε ανοικτή είσοδος μεταφράζεται ακανόνιστα.
- 4) Τα κατώφλια λογικής είναι κάτω από το 30% της τάσης τροφοδοσίας, για τη λογική τιμή 0 και πάνω από τα 70% της τάσης τροφοδοσίας, για τη λογική τιμή 1.
- 5) Λειτουργούν σε μικρότερες ταχύτητες από τα TTL.

---

<sup>29</sup> Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος II, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

6) Είναι πολύ ευαίσθητα στα ηλεκτροστατικά φορτία.

Η μικρή κατανάλωση ισχύος αυτών των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, οφείλεται στην είσοδο μονωμένης πύλης. Με τη μεταγωγή του κυκλώματος, φορτίζονται οι κατανεμημένες χωρητικότητες μέσα στο ολοκληρωμένο και παύει η ροή ρεύματος στην είσοδο. Στην έξοδο, μόνο το ένα από τα δύο τρανζίστορ λειτουργεί, οπότε δεν υπάρχει άμεση ροή ρεύματος προς τη γη. Τα CMOS διαρρέονται από ρεύμα, μόνο κατά τη φάση αλλαγής της κατάστασης τους.

Εάν κάποια είσοδος του κυκλώματος αφηθεί κατά λάθος ή λόγω βλάβης στον αέρα, τότε η πύλη του εσωτερικού FET αιωρείται σε χαμηλή ή υψηλή στάθμη, ανάλογα με τη συσσώρευση των φορτίων. Με το απλό άγγιγμα της εισόδου με το δάκτυλο ή ένα αισθητήριο μέτρησης, το κύκλωμα αλλάζει κατάσταση. Με άλλα λόγια, η λειτουργία μίας ανοικτής εισόδου CMOS είναι ακανόνιστη.

Η φόρτιση και η εκφόρτιση των εσωτερικών χωρητικοτήτων των CMOS, περιορίζουν την ανώτερη συχνότητα λειτουργίας τους. Έτσι, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλής ταχύτητας.

Ένα άλλο μειονέκτημα των ολοκληρωμένων CMOS, είναι η ευαισθησία τους στα ηλεκτροστατικά φορτία. Λόγω της κατασκευής τους, καταστρέφεται πολύ εύκολα το μονωτικό τους στρώμα και καταστρέφονται, από την πρόκληση κάποιου σπινθήρα λόγω της συσσώρευσης των φορτίων. Σε μερικά κυκλώματα, υπάρχουν εσωτερικά δίοδοι για την προστασία των εισόδων, από το στατικό ηλεκτρισμό.

Η καταστροφή κάποιου εξαρτήματος, οφείλεται στη συσσώρευση και στην εκφόρτιση του στατικού ηλεκτρισμού, μέσα απ' αυτό. Τα λεπτά στρώματα, με πάχος μερικά Angstrom, μπορούν πολύ εύκολα να διατρηθούν ή να λιώσουν, από το τόξο που προκαλεί μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Τα εξαρτήματα που είναι τοποθετημένα πάνω στην πλακέτα του τυπωμένου κυκλώματος, είναι σε κάποιο βαθμό ασφαλή. Οι σύνδεσμοι στα τυπωμένα κυκλώματα, είναι επικίνδυνα σημεία, από τα οποία μπορεί να διοχετευθεί στατικός ηλεκτρισμός σε ευαίσθητα εξαρτήματα. Σε ορισμένα αγώγιμα υλικά, τοποθετείται ένα περιφερειακό στρώμα άνθρακα, ώστε να δημιουργηθεί ένα ημιαγώγιμο ωμικό στρώμα. Με αυτό τον τρόπο, τα φορτία κατανέμονται στην επιφάνεια και όχι σε κάποια άλλη περιοχή.

Λόγω της εσωτερικής φυσικής τους κατασκευής, τα CMOS παρουσιάζουν ένα πρόβλημα κλειδώματος σε μια συγκεκριμένη στάθμη. Αυτό συμβαίνει, εάν η έξοδος μίας συσκευής CMOS, ξεπεράσει την τάση τροφοδοσίας κατά 0,5V ή πέσει κάτω

από το δυναμικό της γης κατά 0,5V. Μόλις γίνει κάτι τέτοιο, λόγω της εσωτερικής διάταξης των τρανζίστορ, αυτά κλειδώνουν όπως ακριβώς γίνεται με το θυρίστορ. Σε μια τέτοια κατάσταση, εάν δεν περιοριστεί το ρεύμα του ολοκληρωμένου κυκλώματος, τότε το τελευταίο μπορεί να καταστραφεί.

---

### **1.5.3. Οικογένεια ECL**

---

Τα ολοκληρωμένα που ανήκουν σε αυτή την οικογένεια, χαρακτηρίζονται από την κωδικοποίηση 10XXX. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής<sup>30</sup>:

- 1) Λειτουργούν με αρνητική τάση τροφοδοσίας ίση με 5.2V.
- 2) Τα κατώφλια για τις λογικές στάθμες είναι -0,9 και -1.75V αντιστοίχως.
- 3) Είναι πολύ ταχύτερα από τα TTL.

Τα ολοκληρωμένα ECL, λειτουργούν σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Στην πράξη, πρόκειται για την ταχύτερη οικογένεια ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Για παράδειγμα, ένα φλιπ - φλοπ μπορεί να αλλάζει καταστάσεις, με συχνότητα 500MHz. Σε αυτές τις ταχύτητες, το μήκος των γραμμών διασύνδεσης αρχίζει να γίνεται πρόβλημα.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της οικογένειας ECL είναι ότι, λόγω της εσωτερικής κατασκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε ψηφιακές όσο και σε αναλογικές εφαρμογές.

---

### **1.5.4. Χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων**

---

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι τα εξής<sup>31</sup>:

- 1) Τα συνηθισμένα IC (αυτά που υπάρχουν σε στοκ από τους κατασκευαστές) είναι πολύ φτηνά. Τα τσιπ ειδικής σχεδίασης, όμως (που έχουν παραγωγή σε μικρές ποσότητες), είναι σχετικά ακριβά.

---

<sup>30</sup> Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος II, Εκδόσεις Των, Αθήνα

<sup>31</sup> Καραγιάννης Α. (2000), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

- 2) Το μικρό μέγεθος των IC επιτρέπει την συσκευασία πολύπλοκων συστημάτων (που αποτελούνται από αρκετές εκατοντάδες τσιπ) σε ένα όργανο με λογικές διαστάσεις.
- 3) Επειδή όλα τα εξαρτήματα κατασκευάζονται ταυτόχρονα με ελεγχόμενες συνθήκες και επειδή δεν υπάρχουν εσωτερικές συγκολλήσεις, μια μικροηλεκτρονική συσκευή είναι πολύ αξιόπιστη.
- 4) Εξαιτίας του μικρού κόστους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πολύπλοκη συνδεσμολογία του τσιπ για να παρουσιαστούν βελτιωμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας.
- 5) Οι παράμετροι της συσκευής έχουν προσαρμογή και ακολουθούν τις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- 6) Υπάρχει μια περιορισμένη περιοχή τιμών για τις αντιστάσεις και για τους πυκνωτές.
- 7) Όταν κατασκευάζονται αντιστάσεις και πυκνωτές ειδικών τιμών έχουμε μεγάλες ανοχές.
- 8) Τα εξαρτήματα μπορεί να έχουν μεγάλους συντελεστές θερμοκρασίας και ίσως είναι ευαίσθητα στην τάση.
- 9) Η απόκριση σε υψηλές περιορίζεται από παρασιτικές χωρητικότητες.
- 10) Δεν μπορεί να γίνει ολοκλήρωση σε επαγωγές ή μετασχηματιστές.

---

## 1.6. Μετασχηματιστές

---

Οι μετασχηματιστές είναι διατάξεις δύο ή περισσότερων πηνίων τα οποία βρίσκονται μεταξύ τους σε σύζευξη έτσι ώστε επαγωγικά να μεταφέρεται ηλεκτρική ενέργεια από το ένα πηνίο στο άλλο ή από το ένα τύλιγμα στ' άλλα, με ή χωρίς πυρήνα.

Σαν πυρήνας εννοείται ένα υλικό με βάση το σίδηρο γύρω από το οποίο τυλίγονται τα τυλίγματα. Έτσι ο πυρήνας βοηθάει στον μετασχηματισμό αυξάνοντας την αυτεπαγωγή. Οι μετασχηματιστές χωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες<sup>32</sup>:

- 1) Τους μετασχηματιστές τροφοδοσίας.

---

<sup>32</sup> Χατζόπουλος Α., Ιωακείμης Ε., Θειόκα Φ.(1994), «Ηλεκτρονικά εξαρτήματα: Θεωρία και ασκήσεις», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

- 2) Αυτομετασχηματιστές.
- 3) Μετασχηματιστές υψηλής τάσης.
- 4) Τους μετασχηματιστές ακουστικής συχνότητας.
- 5) Τοροειδής μετασχηματιστές.

Η βασική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι πρώτοι προορίζονται για λειτουργία σε πολύ χαμηλή συχνότητα ενώ οι δεύτεροι για συχνότητες από 16 μέχρι 20KHz.

Ένας ιδανικός μετασχηματιστής αποδίδει την ενέργεια που δέχεται στο ένα του τυλίγμα από μια πηγή ac στα άλλα του τυλίγματα, μεταβάλλοντας τους βασικούς παράγοντες τάση και ρεύμα. Στην πράξη δεν γίνεται αυτό γιατί υπάρχουν διαφόρων ειδών απώλειες οι οποίες αφαιρούνται και έτσι η αποδιδόμενη ενέργεια είναι μικρότερη.

---

### **1.6.1. Κατηγορίες μετασχηματιστών**

---

---

#### **1.6.1.1. Μετασχηματιστές τροφοδοσίας**

---

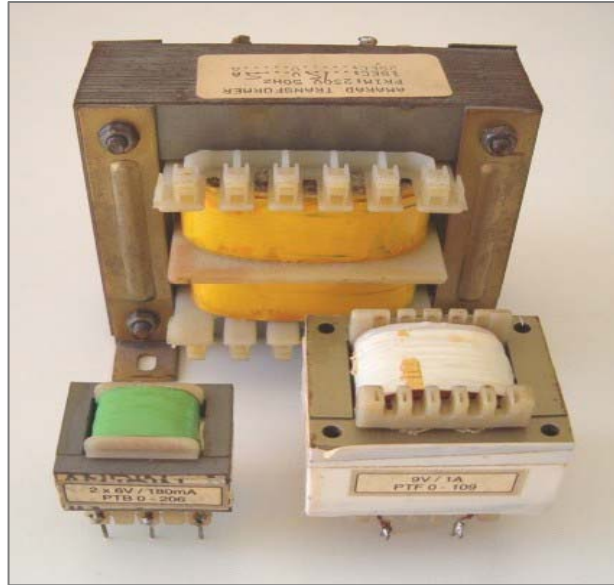
Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας βασικά αποτελείται από δύο ή περισσότερα τυλίγματα, το πρωτεύον που τροφοδοτείται από την τάση του δικτύου και το δευτερεύον ή τα δευτερεύοντα τα οποία δίνουν μικρότερες ή μεγαλύτερες τάσεις.

Αν το δευτερεύον δίνει μεγαλύτερη τάση τότε ονομάζεται μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης, αν το δευτερεύον δίνει μικρότερη τάση ονομάζεται μετασχηματιστής υποβιβασμού και τέλος αν τα δευτερεύοντα δίνουν και μεγαλύτερες και μικρότερες τάσεις από την τάση του δικτύου ονομάζεται μικτός μετασχηματιστής. Ιδανικός μετασχηματιστής είναι αυτός που δεν έχει καμία απώλεια, δηλαδή έχει αμελητέα ωμική αντίσταση στα τυλίγματα του, άπειρη αυτεπαγωγή πρωτεύοντος και όλες οι παραγόμενες μαγνητικές γραμμές από το πρωτεύον να περνάνε από τα δευτερεύοντα τυλίγματα και ανάστροφα<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

**Εικόνα 11**  
**Μετασχηματιστές τροφοδοσίας για σασί και πλακέτα**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

**1.6.1.2. Αυτομετασχηματιστές**

---

Οι αυτομετασχηματιστές αποτελούνται από ένα πηνίο με σιδηροπυρήνα, το οποίο διαθέτει μια ή περισσότερες λήψεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τάση που λαμβάνεται ανάμεσα σε μια λήψη και ένα κοινό σημείο να είναι μικρότερη από την τάση εισόδου. Έτσι επιτυγχάνεται υποβιβασμός τάσης. Για ανύψωση τάσης ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία.

Οι αυτομετασχηματιστές είναι πιο οικονομικοί από τους αντίστοιχους μετασχηματιστές γιατί έχουν λιγότερο σύρμα, λιγότερες μονώσεις και μικρότερους πυρήνες. Ο υπολογισμός τους γίνεται όπως και για τους άλλους μετασχηματιστές με την διαφορά όμως ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κοινές σπείρες και το αυξημένο ρεύμα μέσα από αυτές.

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματά του είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης που έχει. Η χρήση του όμως είναι πάρα πολύ περιορισμένη διότι δεν παρέχει γαλβανική απομόνωση και υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης της φάσης στην έξοδό του. Το μεγάλο αυτό μειονέκτημα που έχει καθιστά την χρήση του σε πολύ ειδικές εφαρμογές<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Electronic Circuits (2008), «Μετασχηματιστές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/metaximatistes.html>, ημερ. προσπέλασης 11/02/2009, Αθήνα

---

### 1.6.1.3. Μετασχηματιστές υψηλής τάσης

---

Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης είναι μικρής ισχύος και χρησιμοποιούνται στους δέκτες τηλεοράσεως για την τροφοδότηση των πηνίων απόκλισης του καθοδικού σωλήνα. Η κατασκευή αυτών των μετασχηματιστών έχει διαφορές καθώς απαιτούνται μονώσεις υψηλής ποιότητας και συμπαγής πυρήνας. Ο πυρήνας στους μετασχηματιστές υψηλής τάσης αποτελείται από δύο κομμάτια φερρίτη σχήματος Π. Στο ένα σκέλος του πυρήνα περιελίσσονται το πρωτεύον και δύο άλλα δευτερεύοντα πηνία, ενώ στο άλλο σκέλος του περιελίσσεται το δευτερεύον, δηλαδή το τύλιγμα υψηλής τάσης. Κατά την περιέλιξη του δευτερεύοντος παρεμβάλλονται μεταξύ των στρωμάτων φύλλα από πλαστική ταινία μεγάλης μόνωσης και η όλη περιέλιξη γίνεται συμπαγής χωρίς να υπάρχουν κενά. Μετά τοποθετείται σε φούρνο με θερμοκρασία από 200 έως 300C° και ψήνεται. Τέλος εμποτίζεται σε πολυεστέρα και τοποθετείται μέσα σε θήκη από πολυκαρβονικό υλικό. Στην τελική μορφή του καλύπτεται ξανά με πολυεστέρα.

Η υπερυψηλή τάση που φτάνει τα 16KV επιτυγχάνεται με την βοήθεια διόδων (καταρράκτης), που στους σύγχρονους μετασχηματιστές υψηλής τάσης περιέχεται και το κύκλωμα του καταρράκτη<sup>35</sup>.

---

### 1.6.1.4. Μετασχηματιστές ακουστικών συχνοτήτων

---

Οι μετασχηματιστές αυτοί είναι εξαρτήματα με τα οποία γίνονται συζεύξεις μεταξύ βαθμίδων ακουστικών ενισχυτών ή μεταξύ τελικού ενισχυτή και των μεγαφώνων. Βέβαια, σήμερα τείνουν να καταργηθούν σχεδόν μετά από την ραγδαία ανάπτυξη των κυκλωμάτων των ενισχυτών Push-Pull με συμπληρωματικά τρανζίστορ όπου στη θέση του μετασχηματιστή χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής.

Ο υπολογισμός ενός τέτοιου μετασχηματιστή είναι αρκετά πολύπλοκος γιατί παρεμβάλλονται παράγοντες όπως όρια συχνοτήτων, παράσιτες χωρητικότητες, διαφορετικές αντιστάσεις, μαγνητικές διαφυγές κλπ<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Electronic Circuits (2008), «Μετασχηματιστές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο <http://www.electroniccircuits.gr/metaximatistes.html>, ημερ. προσπέλασης 11/02/2009, Αθήνα

<sup>36</sup> Καραγιάννης Α. (2000), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

---

### 1.6.1.5. Τοροειδής μετασχηματιστές

---

Οι τοροειδείς μετασχηματιστές (η λέξη τοροειδής, προέρχεται από την ελληνική λέξη τόρος που σημαίνει το γεωμετρικό σχήμα του κουλουριού) έχουν την μορφή των *Toroids*. Αποτελούνται δηλαδή από ένα πυρήνα από σιδηρομαγνητικό υλικό ferrite ή φερρίτη (συμπαγής μάζα από σκόνη σιδήρου και άνθρακα σε ειδικές αναλογίες με προσμίξεις πυριτίου, νικελίου και άλλων μετάλλων) σε κατάλληλη μορφή με στρογγυλεμένες άκρες ώστε να παρουσιάζει πολύ καλές μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες και ελάχιστες απώλειες, γύρω απ' το οποίο περιελίσσεται το τύλιγμα<sup>37</sup>.

**Εικόνα 12**  
**Τοροειδής μετασχηματιστές**



Πηγή: *Electronic Circuits*, 2008

---

## 1.7. Θερμίστορ

---

Τα θερμίστορ είναι αντιστάσεις πολύ ευαίσθητες στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ανήκουν στην κατηγορία των ημιαγωγών. Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη μεταβολή της αντίστασης με τη θερμοκρασία. Όταν διπλασιάζεται η θερμοκρασία η αντίσταση μπορεί να γίνει ακόμη και 4 φορές μεγαλύτερη ή 4 φορές μικρότερη, οπότε τα θερμίστορ είναι μη γραμμικές αντιστάσεις. Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορ<sup>38</sup>:

---

<sup>37</sup> Παπακωνσταντίνου Χ. (1996), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και στοιχεία ηλεκτρονικού σχεδίου», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

<sup>38</sup> Χατζόπουλος Α., Ιωακειμίδης Ε., Θεϊόκα Φ.(1994), «Ηλεκτρονικά εξαρτήματα: Θεωρία και ασκήσεις», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη



- 1) NTC θερμίστορ (Negative Temperature Coefficient). Αυτά έχουν αρνητικό θερμικό συντελεστή αντίστασης που σημαίνει ότι η τιμή της αντίστασης τους ελαττώνεται όσο αυξάνει η θερμοκρασία.
- 2) PTC θερμίστορ (Positive Temperature Coefficient). Αυτά έχουν θετικό θερμικό συντελεστή αντίστασης δηλαδή η τιμή της αντίστασης τους αυξάνει καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

Χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα ραδιοφώνων και τηλεοράσεων με λυχνίες, ευρύτατα σε κυκλώματα αυτοματισμού, κυκλώματα αγγελίας πυρκαγιάς, πυρόμετρα, θερμικούς διακόπτες.

---

## 1.8. Μικροελεγκτές

---

Ο μικροελεγκτής είναι ένα αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα, με πολύ μικρό μέγεθος, σε ένα και μοναδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα (computer on a chip). Όπως και όλα τα VLSI κυκλώματα, αποτελείται από μέρη που κατασκευάζονται με διάφορες λιθογραφικές μεθόδους πάνω σε πλάκες πυριτίου, τα λεγόμενα Silicon Wafers. Πάνω σε αυτά σχηματίζονται χιλιάδες έως εκατομμύρια τρανζίστορ και κατ' επέκταση δημιουργούνται τα λεγόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα που είναι συνδυασμός λογικών πυλών. Συνδυάζοντας τις λογικές πύλες, δημιουργούνται υπομονάδες που επιτελούν ορισμένες πιο εξειδικευμένες λειτουργίες στον μικροελεγκτή.

Μια κύρια διαφορά μεταξύ ενός μικροελεγκτή και ενός μικροεπεξεργαστή είναι πως στον μικροελεγκτή υπάρχει ενσωματωμένη μνήμη και μονάδες ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Οι μικροελεγκτές έχουν ως κύριο σκοπό τους να επικοινωνούν με άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις και όχι με τον άνθρωπο. Είναι αρκετά βεβαρημένοι με υπολογιστικό φόρτο υπολογιστές, κρυμμένοι σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές και οι λειτουργίες τους είναι από περιορισμένες έως πολύπλοκες εργασίες ελέγχου. Κάποιες από τις καθημερινές συσκευές, που ελέγχονται εν μέρει ή και πλήρως ακόμη από κάποιον μικροελεγκτή, είναι ηλεκτρονικά ρολόγια, φούρνοι μικροκυμάτων, ηλεκτρικά πλυντήρια, «εγκέφαλου» αυτοκινήτων κτλ. Επιπλέον, εκτός από εφαρμογές καθημερινής χρήσης, οι

μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται και κατά κόρον σε πληθώρα από επιστημονικούς τομείς για πειραματισμό και έρευνα<sup>39</sup>

**Εικόνα 13**  
**Μικροελεγκτής Basic Stamp**



Πηγή: *Electronic Circuits, 2008*

---

<sup>39</sup> Καραγιάννης Α. (2000), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

---

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

### **Διάγνωση βλαβών σε ηλεκτρονικές διατάξεις – Τα προβλήματα της υπερθέρμανσης**

---

---

## 2.1. Η έννοια της μεταφοράς της θερμότητας

---

Η θερμότητα είναι μορφή ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ δυο συστημάτων εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας. Στο καθημερινό λεξιλόγιο χρησιμοποιείται ο όρος θερμότητα λανθασμένα για να προσδιοριστεί το πόσο ζεστό είναι ένα σώμα. Το πόσο θερμό είναι ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμική ενέργεια που έχει, δηλαδή ένα σώμα είναι πιο θερμό από ένα άλλο αν έχει περισσότερη θερμική ενέργεια. Η θερμότητα στην ουσία είναι μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο και γίνεται αντιληπτή μόνο κατά τη μεταφορά της. Υπάρχουν τρεις τρόποι μετάδοσης της θερμότητας<sup>40</sup>:

- 1) Με αγωγή (conduction). Με τον τρόπο αυτό μεταδίδεται η θερμότητα στα στερεά. Με τον ίδιο τρόπο μεταδίδεται και στα υγρά ή αέρια όταν θεωρούνται ακίνητα. Στα στερεά η θερμότητα μεταδίδεται λόγω των ταλαντώσεων των μορίων στο πλέγμα του στερεού και την ενέργεια που μεταφέρεται από ελεύθερα ηλεκτρόνια ενώ στα υγρά και τα αέρια λόγω της τυχαίας κίνησης των μορίων τους.
- 2) Με μεταφορά (convection). Μ' αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται θερμότητα από ένα στερεό σε αέρια ή υγρά (και το αντίστροφο) τα οποία βρίσκονται σε κίνηση. Όσο γρηγορότερα κινείται το υγρό ή αέριο τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταφορά θερμότητας.
- 3) Με ακτινοβολία (radiation). Η θερμότητα μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Θερμότητα με ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα τα οποία έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη του απολύτου μηδενός.

---

## 2.2. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις ηλεκτρονικές διατάξεις

---

Επειδή οι μεγάλες εσωτερικές θερμοκρασίες προκαλούν βλάβες σ' όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία ισχύος, ειδικά στις ημιαγωγικές διατάξεις ισχύος, ο κύριος όγκος του κεφαλαίου αυτού είναι αφιερωμένος στους μηχανισμούς μεταφοράς της θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της αγωγής, της ακτινοβολίας και της μεταφοράς.

---

<sup>40</sup>

Χρειάζεται μια στοιχειώδης κατανόηση της μεταφοράς θερμότητας όχι μόνο για τη σχεδίαση και τον καθορισμό των απαγωγέων θερμότητας, αλλά και για τη σχεδίαση των πηνίων και των μετασχηματιστών, όπου τα προβλήματα θερμότητας αποτελούν ένα πολύ σημαντικό μέρος της σχεδίασης.

Το θεωρητικό ανώτερο όριο της εσωτερικής θερμοκρασίας ενός ημιαγωγικού στοιχείου είναι η λεγόμενη εσωτερική θερμοκρασία,  $T_i$ , που είναι η θερμοκρασία στην οποία η πυκνότητα των ενδογενών φορέων στη λιγότερο εμπλουτισμένη περιοχή του ημιαγωγικού στοιχείου ισούται με την πυκνότητα των φορέων πλειονότητας στην ίδια περιοχή. Για παράδειγμα, σε μια ελαφρά εμπλουτισμένη περιοχή μετατόπισης μιας διόδου πυριτίου, όπου η πυκνότητα των δοτών είναι  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , η ενδογενής θερμοκρασία είναι περίπου  $280^\circ \text{ C}$ . Εάν ξεπεραστεί αυτή η θερμοκρασία, χάνονται οι ανορθωτικές ιδιότητες της επαφής, επειδή η πυκνότητα των φορέων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την πυκνότητα των προσμίξεων, και η περιοχή εκκένωσης που δημιουργεί το φράγμα δυναμικού στενεύει από τους ενδογενείς φορείς.

Βέβαια οι μέγιστες θερμοκρασίες, που προδιαγράφονται στα φυλλάδια των κατασκευαστών είναι πολύ μικρότερες από αυτό το όριο. Η κατανάλωση ισχύος στους ημιαγωγούς ισχύος αυξάνεται με την εσωτερική θερμοκρασία και οι απώλειες φαίνονται εξαιρετικά μεγάλες ακόμη και σε θερμοκρασίες των  $200^\circ \text{ C}$ . Οι κατασκευαστές των στοιχείων εγγυώνται τις μέγιστες τιμές των παραμέτρων των στοιχείων, όπως η τάση στην κατάσταση αγωγιμότητας, οι χρόνοι μετάβασης και οι απώλειες μετάβασης, για μια ορισμένη θερμοκρασία, η οποία κυμαίνεται από τύπο σε τύπο και είναι συχνά η θερμοκρασία των  $125^\circ \text{ C}$ .

Στο στάδιο της σχεδίασης μια από τις παραμέτρους σχεδίασης είναι η θερμοκρασία της επαφής για τη χειρότερη περίπτωση. Για να έχει ένα σύστημα μεγάλη αξιοπιστία πρέπει να σχεδιαστεί για μια μέγιστη θερμοκρασία επαφής  $20\text{-}40^\circ \text{ C}$  κάτω από τους  $125^\circ \text{ C}$ . Διαφορετικά ορίζεται συνήθως ως μέγιστη θερμοκρασία σχεδίασης οι  $125^\circ \text{ C}$ . Εξαίρεση αποτελεί η μέγιστη θερμοκρασία επαφής του thyristor, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη των  $125^\circ \text{ C}$ . Τα thyristor μπορεί να επαναδιεγερθούν ή να μη λειτουργήσουν σωστά, όταν η θερμοκρασία της επαφής τους ξεπερνά τους  $125^\circ \text{ C}$ , ενώ ταυτόχρονα εφαρμόζεται στο στοιχείο η μέγιστη επιτρεπτή τιμή της παραγώγου  $dv/dt$ .

Μερικά ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος, τρανζίστορ σήματος και ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC), μπορούν να λειτουργούν σε θερμοκρασίες ελαφρά υψηλότερες από

τους 200° C, αλλά η αξιοπιστία τους (αναμενόμενος χρόνος ζωής) είναι μικρή και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους μπορεί να είναι φτωχά σε σύγκριση με αυτά που αντιστοιχούν, για παράδειγμα στους 125° C. Επιπλέον, ο κατασκευαστής δεν εγγυάται τις παραμέτρους για θερμοκρασίες πάνω από τη μέγιστη οριζόμενη στο φυλλάδιο δεδομένων. Εάν ο σχεδιαστής ή ο κατασκευαστής ενός μετατροπέα ισχύος αποφασίσει να λειτουργήσει τις διατάξεις πάνω από τη μέγιστη θερμοκρασία, που ορίζεται στο φυλλάδιο δεδομένων, τότε ο σχεδιαστής ή ο κατασκευαστής θα πρέπει να εξετάσει (να μετρήσει τις παραμέτρους που αντιστοιχούν στις υψηλές θερμοκρασίες) έναν μεγάλο αριθμό στοιχείων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Εάν δεν εξεταστεί κάθε ένα στοιχείο σε όλους τους μετατροπείς, που γίνονται με αυτόν τον ειδικό σχεδιασμό, δεν μπορεί κανείς να είναι σίγουρος ότι κάποια από τα στοιχεία δεν θα έχουν τόσο φτωχά χαρακτηριστικά στις ανυψωμένες θερμοκρασίες, ώστε να μη λειτουργεί ο μετατροπέας. Μια τέτοια διαδικασία εξέτασης είναι δαπανηρή και χρονοβόρα.

Σε μερικές ειδικές εφαρμογές απαιτείται λειτουργία σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η μόνη λύση είναι ο σχολαστικός έλεγχος. Όλες οι διατάξεις θα πρέπει να δοκιμαστούν για μια μέρα έως μια εβδομάδα υπό συνθήκες μέγιστης ισχύος λειτουργίας και στις μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Κατά τη σχεδίαση μιας ηλεκτρονικής διάταξης, ειδικά όταν προορίζεται για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το θερμικό πρόβλημα πρέπει να εξετάζεται σε πρώιμο στάδιο. Το μέγεθος και το βάρος του απαγωγού θερμότητας, η θέση του μέσα στην καμπίνα της συσκευής, και η περιβάλλουσα θερμοκρασία πρέπει να εξετάζονται στο αρχικό στάδιο της σχεδίασης. Είναι σημαντικό να τοποθετούνται απαγωγείς θερμότητας με τα άκρα τους σε κατακόρυφη θέση και με άνεση χώρου, ώστε ο αέρας να μεταφέρεται φυσικά, χωρίς τη χρήση ανεμιστήρα. Ακόμη, κατά τη σχεδίαση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η πιθανότητα θέρμανσης από τον ήλιο. Ένας κακός θερμικός σχεδιασμός κάνει τη συσκευή λιγότερο αξιόπιστη από ότι αρχικά προορίζεται. Η επιλογή του σωστού απαγωγού θερμότητας (Heat sink) αποτελεί ένα μέρος της θερμικής σχεδίασης ενός ηλεκτρονικού συστήματος ισχύος. Σ' ένα αρχικό στάδιο της σχεδίασης ο σχεδιαστής πρέπει ν' αποφασίσει εάν θα χρησιμοποιήσει έναν μεγάλο ή μικρό επαγωγό θερμότητας και τον τρόπο με τον οποίο αυτός θα ψύχεται. Εάν δηλαδή θα ψύχεται με φυσική μεταφορά της θερμότητας ή με ανεμιστήρα (οι ac

ανεμιστήρες που ελέγχονται από ηλεκτρονικούς μετατροπείς μικρής ισχύος είναι πολύ πιο αξιόπιστοι από τους dc ανεμιστήρες) ή ακόμη και με τη χρήση ψυκτικού υγρού.

---

### 2.3. Τα βήματα για τη διάγνωση βλαβών

---

Η επισκευή ενός συστήματος είναι αδύνατη, χωρίς μια συνολική γνώση της λειτουργίας από τον τεχνικό. Συνεπώς, προτού προχωρήσει κάποιος σε επισκευή, πρέπει να είναι ενημερωμένος για τις λεπτομέρειες που διέπουν τη λειτουργία μιας συσκευής ή ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Παρακάτω παρατίθενται τα βασικότερα βήματα εντοπισμού των βλαβών μιας συσκευής ή ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Ειδικότερα<sup>41</sup>:

- 1) Ολοκληρωμένα συστήματα ελέγχου. Ο υπολογιστής μπορεί να αναγνωρίσει και να εντοπίσει προβλήματα και όταν είναι ενσωματωμένος σε ένα σύστημα για διαγνωστικούς σκοπούς, τότε ονομάζεται ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου. Τα αποτελέσματα των ελέγχων εκτυπώνονται σε αναφορές, από τις οποίες ενημερώνονται οι τεχνικοί ώστε να προχωρήσουν στις κατάλληλες ενέργειες.
- 2) Διάγραμμα βαθμίδων συστήματος. Το διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος δείχνει πως γίνεται η επεξεργασία των σημάτων, καθώς και τη διαδρομή τους μέσα στο σύστημα. Η ανεύρεση των σημεία εισόδου των «καλών» σημάτων και των σημείων εξόδου των «κακών» σημάτων, οδηγεί στον εντοπισμό του ελαττωματικού εξαρτήματος. Για να γίνουν κατανοητά τα συμπτώματα του συγκεκριμένου προβλήματος που προκαλούνται από μια βλάβη, πρέπει να αναλυθεί κι να γίνει κατανοητό το διάγραμμα βαθμίδων του συστήματος.
- 3) Συγκέντρωση των λεπτομερειών. Η ενημέρωση από τον τεχνικό που κάνει την πρώτη διάγνωση για τη βλάβη ενός συστήματος είναι σημαντική. Έτσι, μπορεί να γίνουν γνωστές διάφορες λεπτομέρειες, οι οποίες είναι σημαντικές για την επιτάχυνση της επισκευής.
- 4) Επαλήθευση τον προβλήματος. Ρίχνοντας μια συνολική ματιά στο συνολικό διάγραμμα βαθμίδων, ο τεχνικός μπορεί να αφαιρέσει μια σειρά βαθμίδων,

---

<sup>41</sup> Morris J. (1996), «*Applied electronics*», Butterworth - Heinemann

σαν αιτίες της βλάβης. Ανάλογα με τα αποτελέσματα του ελέγχου, ο τεχνικός μπορεί να έχει ενδείξεις για τη φύση του προβλήματος, προσδιορίζοντας έτσι τα βήματα για την επισκευή.

5) Εφαρμογή της λύσης του προβλήματος.

---

#### **2.4. Μορφές ηλεκτρονικών προβλημάτων από υπερθέρμανση**

---

Οι διατάξεις και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κατά τη λειτουργία τους παράγουν θερμότητα. Η υπερθέρμανση μιας ηλεκτρονική διάταξης συνήθως οδηγεί σε μείωση της αποτελεσματικότητας, η ζημία ή ακόμη και καταστροφή.

Η υπερβολική θερμότητα αποτελεί αιτία πολλών προβλημάτων. Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας μπορεί να βοηθήσει στη σωστή και αδιάλειπτη λειτουργία ενός κυκλώματος. Το πρόβλημα της καταστροφής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και διατάξεων έχει αποκτήσει μεγάλη βαρύτητα τα τελευταία χρόνια, αφ' ενός γιατί η εξάπλωση της χρήσης τους έχει επεκταθεί σε πολλούς τομείς και αφ' εταίρου γιατί έχει αυξηθεί η απαίτηση για αξιοπιστία. Οι πρόσφατες τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία πολύπλοκων συστημάτων σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί μια μέθοδο για την ανίχνευση της υπερθέρμανσης. Όλα τα στοιχεία πρέπει να προστατεύονται από μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και υπερθέρμανση.

Η δοκιμή υπερθέρμανσης (ή ανύψωσης της θερμοκρασίας) αφορά την εξακρίβωση του ονομαστικού ρεύματος (μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας) μιας διάταξης μέχρι τα προγραμματισμένα όρια συντήρησης. Η τιμή αυτή δεν μπορεί να είναι τυχαία, γιατί πρέπει να ανταποκρίνεται σε προδιαγεγραμμένες τιμές ρεύματος. Η δοκιμή διαρκεί συνήθως αρκετές ώρες. Στους μετασχηματιστές για παράδειγμα είναι της τάξης των 24 ωρών και θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο.

Η εξακρίβωση της ικανότητας σε ονομαστικό ρεύμα ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος ή μιας διάταξης βασίζεται κυρίως, κατά τη δοκιμή υπερθέρμανσης, στη μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας ως προς το περιβάλλον, που αναπτύσσεται σε αυτόν. Η τιμή αυτή θεωρείται ότι έχει σταθεροποιηθεί όταν μεταξύ δύο διαδοχικών



μετρήσεων, που απέχουν μεταξύ τους μια ώρα, η αύξηση της τιμής είναι μικρότερη από 1°C.

Τα ηλεκτρονικά υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι ηλεκτρονικές διατάξεις περιλαμβάνουν έναν ευρύ αριθμό μετάλλων και κραμάτων. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα ως ένα σύνολο μπορεί να περιλαμβάνει κατασκευαστικά μέταλλα όπως χάλυβες, χαλκό, νικέλιο και τα κράματά τους, αλουμίνιο και τιτάνιο.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρονικών διατάξεων είναι επιρρεπή σε διάβρωση σε μεγάλη ποικιλία περιβαλλόντων. Γενικά όμως η παρουσία υψηλής θερμοκρασίας διευκολύνει την προσβολή ή και καταστροφή τους. Η υπερθέρμανση εμφανίζει μια σειρά προβλημάτων, όπως θα αναλυθούν και παρακάτω. Ειδικότερα<sup>42</sup>:

- 1) Παντελής απουσία λειτουργιών Αποτελεί ένα από τα πιο συνήθη προβλήματα που δημιουργούνται από την υπερθέρμανση. Δεν λειτουργεί απολύτως τίποτα ενδεικτικές λυχνίες, όργανα και άλλοι ενδείκτες.
- 2) Κακή απόδοση. Το πρόβλημα αυτό είναι λίγο δυσκολότερο από το πρώτο. Γενικά, γίνεται ακόμα πιο δύσκολο, όταν η απόδοση είναι κακή, αλλά πλησιάζει αυτήν της κανονικής λειτουργίας.
- 3) Διακοπτόμενες λειτουργίες. Σε αρκετές περιπτώσεις υπερθερμάνσεων, το ολοκληρωμένο σύστημα παρουσιάζει διακοπές κατά τη διάρκεια της λειτουργία του ενώ στη συνέχεια μπορεί να οδηγηθεί και σε καταστροφή του.
- 4) Θερμικές διακοπές. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας θερμικής διακοπής, είναι ότι το πρόβλημα συνήθως παρουσιάζεται όταν μια συσκευή ή ένα ολοκληρωμένο σύστημα λειτουργήσει για κάποιο χρονικό διάστημα. Εάν η συσκευή ή το ολοκληρωμένο σύστημα κλείσει για λίγο, μόλις τροφοδοτηθεί με τάση το πρόβλημα φαίνεται να εξαφανίζεται. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να διορθωθούν, με την εφαρμογή ζεστού ή ψυχρού αέρα, ανάλογα με την περίπτωση, προοδευτικά σε όλο και μικρότερες περιοχές.

Κατά το σχεδιασμό διόδων κυκλωμάτων, διατάξεων ιδιαίτερα σε υψηλά επίπεδα ισχύος, η θερμοκρασία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Όταν μια διάταξη βρίσκεται σε λειτουργία, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας είναι αρκετές. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία μεταβάλλεται συναρτησί του ρεύματος. Κάθε φορά που το ρεύμα του διατρέχει τη διάταξη ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια, οδηγεί και σε

---

<sup>42</sup> Bishop O. (2007), «*Electronic circuits and systems*», 3<sup>rd</sup> Edition, Newnes

αύξηση της θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να αποτραπεί κάθε τέτοια περίπτωση ενώ αναζητείται σ'όλες τις διατάξεις η θερμική σταθερότητα.

Μια σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας συχνά ακολουθείται από αύξηση της ισχύος, η οποία προκαλεί τη θερμοκρασία της διάταξης να αυξηθεί ακόμη περισσότερο. Αυτό ονομάζεται ανεξέλεγκτη θερμική λειτουργία, και εάν δεν μειωθεί η θερμότητα που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της διάταξης μπορεί να οδηγήσει σε κάποια σοβαρή βλάβη.

Σε μια διάταξη, η θερμότητα μεταφέρεται μέσω των διαφόρων τύπων υλικών και πέρα από τα όρια των ανόμοιων υλικών, καθένα από τα οποία παρουσιάζει διαφορετικές τιμές θερμικής αντίστασης. Αυτά συνήθως αντιμετωπίζονται σαν σειρά ηλεκτρικών κυκλωμάτων, ώστε οι θερμικές αντιστάσεις να προστίθενται κατά τον υπολογισμό της συνολικής θερμικής ροής μέσω του συστήματος ή της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία.

---

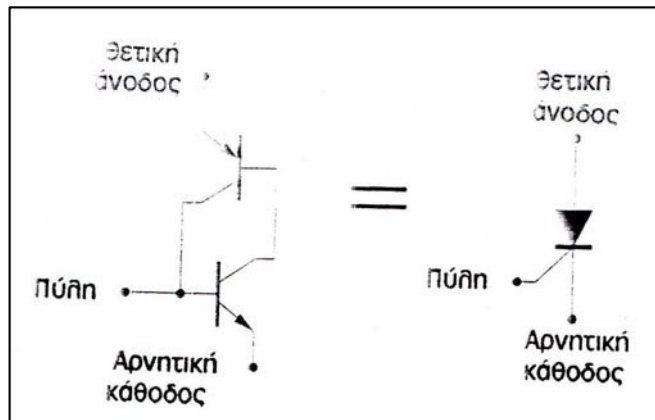
## **2.5. Υπερθέρμανση σε κυκλώματα με θυρίστορ και τράιακ**

---

Το θυρίστορ, είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου, που όταν διεγερθεί από σήμα σκανδαλισμού τη στιγμή που η άνοδος είναι θετικότερη από την κάθοδο, παρουσιάζει ένα «βραχυκύκλωμα» από την άνοδο στην κάθοδο. Μετά από αυτό, η πύλη παύει να έχει τον έλεγχο του εξαρτήματος, από το οποίο περνούν μεγάλες εντάσεις ρεύματος, μέχρι η τάση ανόδου - καθόδου πέσει αρκετά, ώστε να πάψει το εξάρτημα να άγει. Η μείωση της τάσης ανόδου - καθόδου, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ρεύματος που διαρρέει τη συσκευή και μόλις αυτό πέσει κάτω από μια τιμή που ονομάζεται ρεύμα συγκράτησης (holding current), τότε η επαφή ανόδου - καθόδου ανοίγει. Αυτή η δράση εξηγείται καλύτερα, παρατηρώντας τα σχήματα που ακολουθούν.

Σχήμα 1

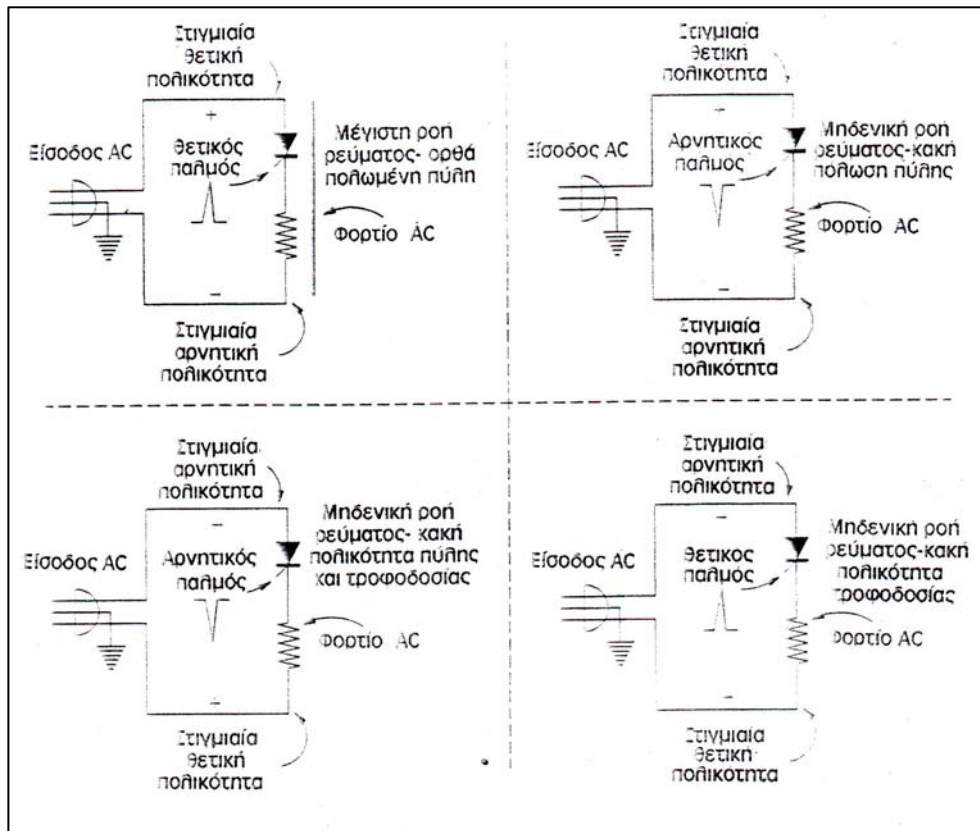
Ανάλογο λειτουργίας του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου με δύο τρανζίστορ



Πηγή: Πατέστος, 1996

Παρατηρώντας το ζεύγος των τρανζίστορ (σχήμα 1), φαίνεται ότι όταν κανένα από τα δύο τρανζίστορ δεν άγει, δεν υπάρχει ροή ρεύματος από το πάνω κύκλωμα εκπομπού-συλλέκτη, επειδή η βάση του βρίσκεται στον αέρα (αιωρείται). Κατά παρόμοιο τρόπο, στο κάτω τρανζίστορ υπάρχει ένα ρεύμα αιώρησης ή μηδενικό ρεύμα εισόδου στην πύλη, με αποτέλεσμα και αυτό να είναι σε αποκοπή. Με την εφαρμογή ενός παλμού σκανδαλισμού στην πύλη, με θετική πολικότητα, το κάτω τρανζίστορ άγει, οδηγώντας την τάση του συλλέκτη προς τα κάτω. Αυτό έχει σαν συνέπεια την πυροδότηση του πάνω τρανζίστορ, το οποίο ταυτοχρόνως, οδηγεί τη βάση του κάτω τρανζίστορ σε υψηλή δυναμικό. Με αυτή τη δράση, τα δύο τρανζίστορ κλειδώνονται στην αγώγιμη κατάσταση, αφού το κάθε ένα διατηρεί το άλλο στον κόρο. Επειδή το πάνω τρανζίστορ εφαρμόζει μια πολύ ισχυρή ορθή πόλωση στο κάτω τρανζίστορ, δεν υπάρχει δυνατότητα να αποκοπεί η συσκευή, με την εφαρμογή ενός σήματος στην πύλη. Ο μόνος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να διακοπεί το ρεύμα στα κυκλώματα εκπομπού - συλλέκτη.

**Σχήμα 2**  
**Συνθήκες αγωγιμότητας για το θυρίστορ**



Πηγή: Πατέστος, 1996

Το θυρίστορ, μπορεί να μπει στην αγώγιμη κατάσταση, χωρίς τη βοήθεια ενός παλμού εισόδου, εφόσον η τάση που εφαρμόζεται στην άνοδο, αυξάνεται γρήγορα. Αυτό οφείλεται, στη μικρή χωρητικότητα που παρουσιάζει η πύλη. Σε περίπτωση που η τάση έχει μικρό χρόνο ανόδου, η χωρητικότητα της πύλης μπορεί να οδηγήσει σε πυροδότηση το εξάρτημα, πρώιμα. Αυτό το γεγονός μπορεί να συμβεί, εάν υπάρχει μια μεγάλη τασική αιχμή θορύβου, κάτι πολύ κοινό στους βιομηχανικούς ελεγκτές κινητήρων. Αυτή η ανεπιθύμητη μετάπτωση σε αγώγιμη κατάσταση γίνεται, όταν γίνει υπέρβαση των προδιαγραφών  $AV/At$  του θυρίστορ, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη μεταβολή τάσης ( $AV$ ), σε πολύ μικρό χρόνο ( $\Delta t$ ). Αυτή η κατάσταση, μπορεί να αποφευχθεί με τη βοήθεια παθητικών δικτυωμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν αντιστάτες, διόδους, πηνία και πυκνωτές (σχήμα 2).

Τα θυρίστορ και τα τράιακ, παρουσιάζουν τις ίδιες βλάβες. Εξ'αιτίας των ισχυρών ρευμάτων που διαρρέουν αυτά τα εξαρτήματα, στην κανονική λειτουργία τους, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ισχύος. Συνεπώς για να αντέξει το εξάρτημα στη θερμική καταπόνηση, πρέπει να έχει ψύκτρα, με ισχυρό θερμικό δεσμό. Όταν το

θυρίστορ ή το τράιακ παρουσιάσουν βλάβη, τότε ή ανοίγουν ή βραχυκυκλώνουν, την επαφή ανόδου - καθόδου (για το θυρίστορ) ή την επαφή MT1 - MT2 (για το τράιακ). Το βραχυκύκλωμα μπορεί να γίνει και ανάμεσα στην επαφή της πύλης, αλλά κάτι τέτοιο είναι πιο σπάνιο<sup>43</sup>.

---

## 2.6. Η υπερθέρμανση στους μετασχηματιστές

---

Ένας σωστός μετασχηματιστής δεν καταστρέφεται όταν λειτουργεί με κανονικό φορτίο και κανονική τάση τροφοδοσίας. Αν όμως υπερφορτωθεί τότε μπορεί να υπερθερμανθεί. Υπερθέρμανση μπορεί επίσης να συμβεί από εσωτερικό βραχυκύκλωμα σπειρών. Ο κανονικός μετασχηματιστής μπορεί να ελεγχθεί ως προς την θέρμανση με την απλή επαφή του χεριού μας που πρέπει να είναι ανεκτό (μέχρι 40°C). Γενικά οι βλάβες που μπορεί να πάθει ένας μετασχηματιστής είναι<sup>44</sup>:

- 1) Διακοπή τυλίγματος ή τυλιγμάτων.
- 2) Βραχυκύκλωμα σπειρών ή βραχυκύκλωμα μεταξύ τυλιγμάτων.
- 3) Αλλοίωση στην εμφάνιση τους λόγω υπερθέρμανσης.
- 4) Μηχανικές καταπονήσεις λόγω κρούσεων.

Στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές υποβιβασμού των τάσεων μεταφοράς 150 KV ή 15KV σε τάση δικτύου 220V ή 380V. Οι μετασχηματιστές αυτοί χρησιμοποιούν ειδικά ψυκτικά υγρά όπως ειδικά λάδια, clofen, λάδια σιλικόνης κλπ. Σε τροφοδοσίες μεγάλων συσκευών χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές πολλών KVA, συνήθως αέρος, δηλαδή η ψύξη τους γίνεται με ή χωρίς μικρούς ανεμιστήρες.

---

## 2.7. Υπερθέρμανση των πυκνωτών και δημιουργία επιμέρους προβλημάτων

---

Οι πυκνωτές, όπως και όλα τα άλλα, εξαρτήματα μπορούν να πάθουν διάφορες βλάβες. Εκείνη όμως που αξίζει ιδιαίτερης αναφοράς είναι η υπερθέρμανση. Συνήθως παρουσιάζεται μετά από μια μεταβολή της χωρητικότητας του πυκνωτή. Η

---

<sup>43</sup> Bishop O. (2007), «*Electronic circuits and systems*», 3<sup>rd</sup> Edition, Newnes

<sup>44</sup> Bogart T. (2000), «*Electronic devices and circuits*», International Edition, Prentice Hall

βλάβη αυτή προέρχεται κυρίως από μηχανικές καταπονήσεις υπερβολική θερμοκρασία, υπερβολική τάση και γήρανση. Είναι αρκετά δύσκολη βλάβη, προκαλεί διάφορα προβλήματα και βρίσκεται μόνο με όργανα ελέγχου χωρητικότητας. Η υπερθέρμανση ωστόσο μπορεί να δημιουργήσει και επιμέρους προβλήματα όπως<sup>45</sup>:

- 1) Βραχυκύκλωμα. Βραχυκύκλωμα σημαίνει την ηλεκτρική γεφύρωση μεταξύ των οπλισμών. Μπορεί να είναι ολικό βραχυκύκλωμα μεταξύ των ακροδεκτών ή μεταξύ των οπλισμών ή μερικό βραχυκύκλωμα μεταξύ μέρους των οπλισμών και συμβαίνει είτε από υπερβολική τάση είτε από υπερθέρμανση. Και στις δύο περιπτώσεις ο πυκνωτής είναι άχρηστος και πρέπει ν' αντικατασταθεί.
- 2) Διαρροή. Ο όρος διαρροή σημαίνει κακή μόνωση μεταξύ των δύο οπλισμών του πυκνωτή από άποψη συνεχούς ρεύματος ή το ίδιο σημαίνει μείωση της αντίστασης μόνωσης. Μπορεί να προέλθει από θερμοκρασία, υγρασία, γήρανση, αλλοίωση του διηλεκτρικού κλπ.

**Εικόνα 14**  
**Υπερθέρμανση σε πυκνωτές**



Πηγή: <http://images.google.gr>

---

<sup>45</sup> Ghausi M. (1985), «*Electronic devices and circuits: Discrete and integrated*», Holt, New York

---

## 2.8. Η υπερθέρμανση των αντιστάσεων

---

Οι αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες, ώστε να απάγουν τη θερμότητα που αναπτύσσεται. Όσο μεγαλύτερες είναι, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα μπορούν να απάγουν. Εάν οι αντιστάσεις που θερμαίνονται αρκετά, τοποθετηθούν δίπλα σε μια πλακέτα μπορεί να την κάψουν ή να την αποχρωματίσουν.

Κανονικά, οι μικρές αντιστάσεις δεν θερμαίνονται. Εάν μια αντίσταση υπερθερμανθεί ή καεί, τότε είναι βέβαιο, ότι φταίει κάποιο άλλο εξάρτημα (βραχυκυκλωμένο τρανζίστορ ή ηλεκτρολυτικός πυκνωτής). Ο θόρυβος σε μια αντίσταση οφείλεται στην τυχαία κίνηση που παράγεται από θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων. Η υπερθέρμανση προκαλεί την διέγερση και οδηγεί στην εμφάνιση του θορύβου.

Οι μεγάλες αντιστάσεις άνθρακα, δημιουργούν τα δικά τους προβλήματα. Όταν λειτουργούν στο μέγιστο της ισχύος τους, τείνουν να αλλάζουν τιμή με την πάροδο του χρόνου. Σε μερικά κυκλώματα, το φαινόμενο αυτό είναι συσσωρευτικό, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των εξαρτημάτων<sup>46</sup>.

---

## 2.9. Η υπερθέρμανση στα τρανζίστορ

---

Υπάρχουν κυκλώματα που παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση, όπως είναι οι λυχνίες, τα ολοκληρωμένα CMOS και τα FET (τρανζίστορ επίδρασης πεδίου). Ωστόσο, μπορεί να παρουσιάσουν απρόβλεπτη συμπεριφορά, εάν αποσυνδεθεί κάποια από τις εισόδους τους. Στα ψηφιακά κυκλώματα, η ύπαρξη μιας στάθμης τάσης, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στην τιμή 1 και την τιμή 0, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση περιέργων συμπτωμάτων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στη σύνδεση εξόδων, όπου κάθε μια προσπαθεί να οδηγηθεί σε διαφορετικό δυναμικό.

Τα τρανζίστορ, σε κανονική λειτουργία μπορεί να υπερθερμανθούν και να καταστραφούν, από την ίδια τη θερμότητα τους. Η υπερθέρμανση συνήθως δεν οφείλεται στο ίδιο το τρανζίστορ, αλλά στα στοιχεία τα οποία ρυθμίζουν την πόλωση του.

---

<sup>46</sup> Millman J. (1972), «*Integrated electronics*», McGraw – Hill International Editions, Electrical and Electronic engineering series, London

Η μεταβολή της θερμοκρασίας έχει επίδραση στο τρανζίστορ. Στα τρανζίστορ επαφής το ρεύμα διαρροής, η ενίσχυση ρεύματος και η τάση εκπομπού - βάσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές εξόδου του τρανζίστορ, δημιουργεί επιμέρους προβλήματα. Στα τρανζίστορ πυριτίου, το ρεύμα διαρροής είναι πολύ μικρό και οποιαδήποτε μεταβολή του δεν έχει σημαντική επίδραση στις εισόδους του τρανζίστορ<sup>47</sup>.

Οι κατασκευαστές των τρανζίστορ ορίζουν μια μέγιστη τάση συλλέκτη, ένα μέγιστο ρεύμα συλλέκτη και μια μέγιστη ισχύ απωλειών συλλέκτη. Συνεπώς, το τρανζίστορ λειτουργεί ικανοποιητικά μόνο μέσα στις προβλεπόμενες τιμές του κατασκευαστή.

Το ρεύμα διαρροής συλλέκτη αυξάνει πολύ συναρτήσει της θερμοκρασίας. Τελικά, γίνεται τόσο μεγάλο ώστε να περιορίζει τη χρησιμότητα του τρανζίστορ. Για τρανζίστορ γερμανίου η θερμοκρασία αυτή είναι της τάξης των 100°C, ενώ για πυριτίου είναι 200°C. Το όριο αυτό ονομάζεται μέγιστη θερμοκρασία επαφής συλλέκτη. Όταν το τρανζίστορ λειτουργεί, καταναλώνεται ισχύς η οποία οφείλεται στο ρεύμα και στην τάση συλλέκτη. Η ισχύς αυτή, που είναι το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμότητας αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της επαφής.

Τα τρανζίστορ έχουν πολλά πλεονεκτήματα ως προς τις λυχνίες, έχουν όμως και ένα σημαντικό μειονέκτημα, είναι πολύ ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στα σύγχρονα τρανζίστορ πυριτίου, τα οποία έχουν πολύ λίγα αντίστροφα ρεύματα, η αύξηση της θερμοκρασίας δεν είναι συνήθως ένα σοβαρό πρόβλημα. Ωστόσο, σε ορισμένες εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλα ρεύματα διαρροής, η υψηλή θερμοκρασία εμφανίζεται αρκετές φορές.

Στις λυχνίες, οι φορείς του κυκλώματος ανόδου προέρχονται από την κάθοδο που θερμαίνεται στην περιοχή των 1000 °C, οπότε μια μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά μερικές δεκάδες βαθμών είναι τελείως αμελητέα.

Στο τρανζίστορ όμως η θερμοκρασία των ενώσεων δεν επιτρέπεται να υπερβεί τα όρια που προαναφέρθηκαν η δε θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 60 °C και 80 °C αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι μια μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά μερικές δεκάδες βαθμούς αλλάζει σημαντικά τις συνθήκες λειτουργίας των ενώσεων αυτών.

---

<sup>47</sup> Schilling D. (1989), «*Electronic circuit*», 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw – Hill International Editions, Electrical and Electronic engineering series



Η αύξηση της θερμοκρασίας εξαρτάται από το πόσο γρήγορα μπορεί η θερμότητα να απάγεται, και η θερμοκρασία θα ανέρχεται μέχρις ότου η θερμοκρασία που δημιουργείται από την ισχύ γίνει ίση με το ρυθμό απαγωγής της θερμότητας. Η ιδιότητα του τρανζίστορ να χάνει θερμότητα εκφράζεται με τον όρο θερμική αντίσταση και δίνεται από τον κατασκευαστή σαν η θερμοκρασία επαφής ανά μονάδα ισχύος απωλειών<sup>48</sup>.

---

## 2.10. Υπερθέρμανση σε διόδους τύπου zener

---

Η επίδραση της θερμότητας στη δίοδο για την ομαλή λειτουργία της αποτελεί πρακτικό πρόβλημα. Η διάχυση της ηλεκτρικής ενέργειας ως θερμότητα στη δίοδο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει να διατηρείται εντός αποδεκτών ορίων, διαφορετικά η δίοδος θα υποστεί ζημιές.

Η χάση διάσπασης της διόδου zener μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Αυτές οι μεταβολές εμφανίζονται και στη τάση εξόδου του κυκλώματος σταθεροποίησης. Αν συνδεθούν μία ή περισσότερες διόδους πολωμένες κατά την ορθή φορά σε σειρά με μια δίοδο zener τότε είναι δυνατό να ελαττωθεί στο ελάχιστο την επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας στη τάση εξόδου του κυκλώματος.

Ένα ενδιαφέρον θέμα για τις διόδους zener είναι η ευαισθησία στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής θερμοκρασίας ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της τάσης zener προς την αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η τάση διάσπασης μιας διόδου zener μπορεί να ελαττωθεί ή να αυξηθεί σχετικά με τη θερμοκρασία, ανάλογα με το φαινόμενο που στηρίζεται η λειτουργία της.

Επομένως, η επίδραση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα μεγάλη στις διόδους τύπου zener, επηρεάζοντας όχι μόνο τη σωστή λειτουργία τους αλλά μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε καταστροφή τους<sup>49</sup>.

---

<sup>48</sup> Bishop O. (2007), «*Electronic circuits and systems*», 3<sup>rd</sup> Edition, Newnes

<sup>49</sup> Millman J. (1972), «*Integrated electronics*», McGraw – Hill International Editions, Electrical and Electronic engineering series, London

---

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

### **Η ψύξη και οι βασικές τεχνικές**

---

Παρά το γεγονός ότι δεν μπορούν να τροποποιηθούν σε ουσιαστικό βαθμό τα όρια της υπερφόρτωσης, τα περισσότερα στοιχεία ισχύος έχουν δυνατότητες υπερφόρτωσης, που υπερβαίνουν κατά πολύ τους περιορισμούς μέσης ισχύος κατά μια τάξη μεγέθους ή και περισσότερο. Στην πραγματικότητα εκείνο που έχει σημασία δεν είναι η στιγμιαία ισχύς, αλλά η συνολική ποσότητα ενέργειας που δαπανάται μέσα στο στοιχείο κατά τη διάρκεια του μεταβατικού φαινομένου. Οι περιορισμοί υπερφόρτωσης περιλαμβάνουν όχι μόνο έναν περιορισμό (προδιαγραφή) στιγμιαίας ισχύος, αλλά και τη διάρκεια της.

Είναι κοινή ευθύνη του κατασκευαστή και του χρήστη η διατήρηση της θερμοκρασίας της διάταξης μέσα σε λογικά όρια. Ο κατασκευαστής ελαχιστοποιεί τη θερμική αντίσταση  $R_{\theta_{jc}}$  μεταξύ του εσωτερικού του στοιχείου, όπου καταναλώνεται η ισχύς, και της εξωτερικής επιφάνειας της θήκης η οποία περικλείει το στοιχείο. Ο χρήστης της διάταξης πρέπει να εξασφαλίζει μια διαδρομή της θερμότητας μεταξύ του περιβλήματος και του περιβάλλοντος, όπου τελικά δαπανάται η θερμότητα που παράγεται μέσα στο στοιχείο, ώστε η αντίστοιχη θερμική αντίσταση  $R_{\theta_{ca}}$  να ελαχιστοποιείται με το λιγότερο δυνατό κόστος.

Η ευθύνη του χρήστη διευκολύνεται από το γεγονός ότι έχει στη διάθεση του μια μεγάλη ποικιλία απαγωγών θερμότητας. Οι απαγωγείς θερμότητας είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο σε διάφορα σχήματα και χρησιμοποιούνται για την ψύξη των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος. Εάν οι απαγωγείς θερμότητας ψύχονται με φυσική μεταφορά, η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων, πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 - 15 mm. Μια επικάλυψη με μαύρο οξειδίο ελαττώνει τη θερμική αντίσταση κατά 25%, αλλά αυξάνει το κόστος περίπου το ίδιο ποσοστό. Οι θερμικές σταθερές χρόνου των απαγωγών θερμότητας, που ψύχονται με φυσική μεταφορά, είναι της τάξης των 4 - 15 mm. Με την προσθήκη ανεμιστήρα η θερμική αντίσταση ελαττώνεται και ο επαγωγός θερμότητας μπορεί να γίνει μικρότερος και ελαφρύτερος, πράγμα που ελαττώνει και τη θερμική χωρητικότητα  $C_s$ . Η θερμική σταθερά χρόνου των απαγωγών θερμότητας με εξαναγκασμένη ψύξη είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των απαγωγών που ψύχονται με φυσική μεταφορά. Τυπικές τιμές της θερμικής σταθεράς χρόνου των απαγωγών θερμότητας με εξαναγκασμένη ψύξη μπορεί να είναι μικρότερες από 1 mm. Οι αποστάσεις μεταξύ των ψυκτικών πτερυγίων στους επαγωγούς θερμότητας που χρησιμοποιούν εξαναγκασμένη ψύξη δεν πρέπει να είναι

μεγαλύτερες από λίγα χιλιοστά. Σε μεγαλύτερη ισχύ, για την περαιτέρω βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται ψύξη με νερό ή λάδι.

Η επιλογή του κατάλληλου απαγωγού θερμότητας εξαρτάται από τη μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αντέξει η επαφή. Στη σχεδίαση, που αντιστοιχεί στη χειρότερη περίπτωση, προδιαγράφονται η μέγιστη θερμοκρασία της επαφής  $T_{j,max}$ , η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{a,max}$ , η μέγιστη τάση λειτουργίας, και το μέγιστο ρεύμα στην κατάσταση αγωγιμότητας. Οι μέγιστες απώλειες ισχύος, που αντιστοιχούν στην κατάσταση αγωγιμότητας του στοιχείου, μπορούν να υπολογιστούν, αν είναι γνωστά τα μεγέθη: το μέγιστο ρεύμα αγωγής, η σχετική διάρκεια αγωγής και η μέγιστη αντίσταση στην κατάσταση αγωγιμότητας. Οι απώλειες μετάβασης υπολογίζονται με ολοκλήρωση ως προς τον χρόνο της στιγμιαίας απώλειας ισχύος και υπολογισμό της μέσης τιμής, που αντιστοιχεί στην περίοδο μετάβασης. Στη συνέχεια υπολογίζεται η κατανάλωση ισχύος  $P_{loss}$ , η οποία είναι το άθροισμα των απωλειών στην κατάσταση αγωγιμότητας και της μέσης τιμής των απωλειών μετάβασης. Από αυτές τις πληροφορίες η μέγιστη επιτρεπτή θερμική αντίσταση επαφής-περιβάλλοντος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$R_{\theta ja} = (T_{j,max} - T_{a,max})/P_{loss}$$

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι το θερμικό γράσο χρησιμοποιείται μόνο για να απομακρύνει τον αέρα από τα μικροσκοπικά αιχμηρά σημεία μεταξύ των γειτονικών επιφανειών (μίκας - απαγωγού θερμότητας και μίκας - transistor) χρησιμοποιώντας έτσι όλο το εμβαδόν της επιφάνειας για την αγωγή της θερμότητας. Εάν χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ προσθετικό, το στρώμα θα είναι υπερβολικά παχύ και θα αυξηθεί η θερμική αντίσταση.

---

### 3.1. Η χρήση του αέρα ως μέσο ψύξης

---

Ο αέρας, είναι ο γνωστότερος τρόπος ψύξης όχι μόνο για τις ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά και για τα ευρύτερα ολοκληρωμένα κυκλώματα και συστήματα. Η αναγκαιότητα για την ψύξη προέρχεται από το γεγονός ότι τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και οι ηλεκτρονικές διατάξεις έχουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα

με την θερμοκρασία τους. Είναι επίσης γνωστό ότι ανάλογα με την θερμοκρασία υπάρχει διαστολή και συστολή, κάτι που επίσης επηρεάζει την λειτουργία τους. Ένα από τα βασικά στοιχεία ψύξης που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι ανεμιστήρες και οι ψήκτρες<sup>50</sup>. Παρακάτω, αναλύεται λεπτομερώς η ψήκτρα καθώς και η σημασία της στα ολοκληρωμένα συστήματα και διατάξεις.

---

### ***3.1.1. Οι ψήκτρες ως εργαλείο αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης***

---

Η ροή του αέρα μπορεί να επηρεάσει την θερμοκρασία – ψύξη μιας ηλεκτρονικής διάταξης. Ένα από τα βασικότερα στοιχεία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των διατάξεων είναι οι ψήκτρες.

Οι ψήκτρες είναι ειδικές κατασκευές που εφάπτονται στην εξωτερική επιφάνεια των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των διατάξεων με σκοπό την απομάκρυνση της εκλυόμενης θερμοκρασίας. Το υλικό και το σχήμα τους αλλάζει ανάλογα με την χρήση και το κόστος.

Γενικεύοντας κανείς, μπορεί να πει ότι όλες οι σημερινές ψήκτρες είναι κατασκευασμένες είτε από χαλκό, είτε από αλουμίνιο ή από μίγμα των δυο προηγούμενων υλικών. Επίσης, άλλη μια γενίκευση είναι ότι όλες έχουν τέτοιο σχήμα ώστε να μπορεί ο αέρας να περνά από μέσα τους. Παρακάτω, παρατίθενται η εικόνα μια ψήκτρας που χρησιμοποιείται ενδεικτικά στη ψύξη των διατάξεων των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

---

<sup>50</sup> Πακτίτη Σ., Σαλέμη Π. (1988), «Γενικά ηλεκτρονικά», 5<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

**Εικόνα 15**

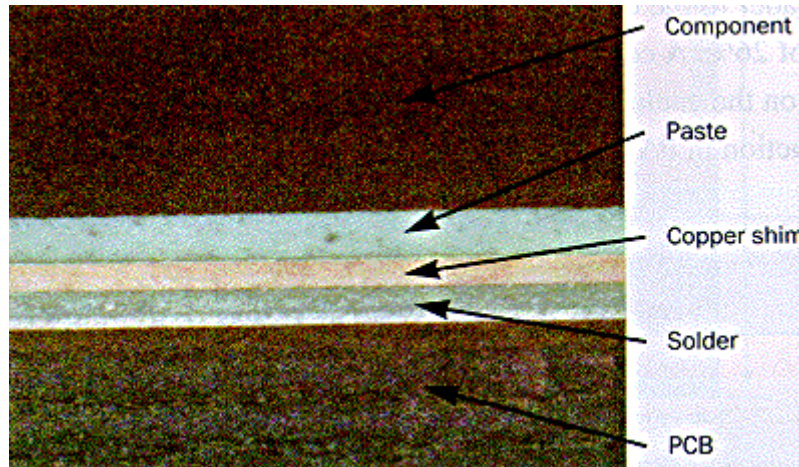
**Ψήκτρα σε ηλεκτρονική διάταξη υπολογιστή**



Πηγή: <http://images.google.gr>

Στην παραπάνω εικόνα, παρατηρείται ότι η ψήκτρα έρχεται και εφάπτεται στην επιφάνεια του ολοκληρωμένου. Ταυτόχρονα μέσα στην ψήκτρα υπάρχει και ένας ανεμιστήρας για την καλύτερη θερμοαπαγωγή. Κάτι άλλο που χρήζει παρατήρησης, είναι το λευκό κολλώδες υλικό που βρίσκεται τόσο πάνω στην επιφάνεια του ολοκληρωμένου, όσο και στην επιφάνεια της ψήκτρας. Με τον τρόπο αυτό, η επαφή της ψήκτρας πάνω στο ολοκληρωμένο γίνεται καλύτερη, απάγοντας έτσι την θερμοκρασία μακριά από αυτό και κρατώντας το μέσα στις σωστές προδιαγραφές. Ανάλογα με το ολοκληρωμένο (στο παράδειγμα μας αναφερόμαστε σε μια μητρική πλακέτα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή) το μέγεθος της ψήκτρας και του ανεμιστήρα ποικίλλει .

Αναλύοντας τα παραπάνω, πρέπει να αναφερθεί ότι το κολλώδες υλικό που μπαίνει ενδιάμεσα σε μια ψήκτρα και στην επιφάνεια ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος ονομάζεται θερμοαγώγιμη πάστα. Σκοπός της είναι η καλύτερη επαφή μεταξύ των δυο υλικών. Το μέγιστο πόσο θερμικής ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί από το ολοκληρωμένο προς την ψήκτρα επιτυγχάνεται όταν υπάρχει τελεία επαφή μεταξύ των δυο επιφανειών. Όποτε η θερμοαγώγιμη πάστα έχει σαν λειτουργία της να γεμίσει τα κενά που υπάρχουν στην επιφάνεια κάθε υλικού. Οι επιφάνειες είναι τραχείες και δεν είναι τελείως λείες από την φύση τους. Παρατηρώντας κάποιος από πιο κοντά τα υλικά που έρχονται σε επαφή τότε θα μπορούσε να έχει μια εικόνα σαν την παρακάτω.

Εικόνα 16Διαστρωμάτωση επαφής ψήκτρας – θερμοαγωγιμης πάστας - ολοκληρωμένου

Πηγή: <http://images.google.gr>

Το βασικό συμπέρασμα, λοιπόν, είναι ότι όσο καλύτερη ροή αέρα υπάρχει και όσο καλύτερη επαφή μεταξύ της ψήκτρας και του εκάστου ολοκληρωμένου, τόσο καλύτερες θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν. Τον πιο σημαντικό, βεβαίως, ρόλο παίζει η κατασκευή της ψήκτρας, τόσο κατά το σχήμα της, που ποικίλλει ανάλογα τον κατασκευαστή, όσο και το υλικό της. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την εφαρμογή της κατάλληλης ψήκτρας είναι η θερμική αγωγιμότητα (θερμοαγωγιμότητα - thermal conductivity) και η θερμική ικανότητα (θερμοχωρητικότητα - thermal capacity). Με τον όρο θερμική αγωγιμότητα ορίζεται ο ρυθμός απορρόφησης και διαβίβασης – αποβολής της θερμότητας. Αντίστοιχα η θερμική ικανότητα αναφέρεται στο συνολικό ποσό θερμικής ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα υλικό σε συνδυασμό πάντοτε με την θερμοαγωγιμότητά του. Μια μονάδα μέτρησης που προκύπτει από τον συνδυασμό των δύο παραπάνω χαρακτηριστικών είναι η θερμική διαφορετικότητα (thermal differential) και υπολογίζεται σαν το κλάσμα των δυο παραπάνω μονάδων μέτρησης. Έτσι, η θερμική διαφορετικότητα εκφράζει την συνολική αποτελεσματικότητα, ως μέσο ψύξης κάποιου υλικού.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το ασήμι έχει την καλύτερη αγωγιμότητα, αλλά λόγω κόστους δεν είναι εύχρηστο (εάν και θεωρείται «μαλακό» μέταλλο). Δεύτερος έρχεται ο χαλκός, ένα υλικό αρκετά φτηνό και εύκολο στην επεξεργασία του και το αλουμίνιο που έχει και χαμηλό κόστος και μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα.

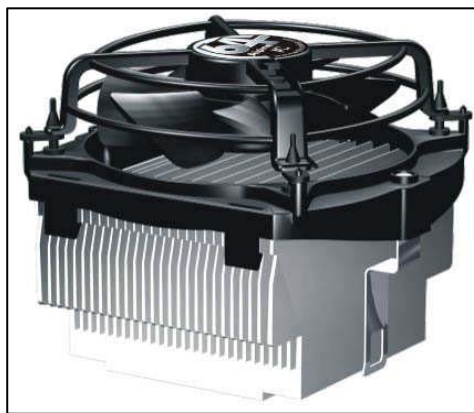
Σημαντικό ρόλο επίσης στην ψύξη μιας ηλεκτρονικής διάταξης παίζει και το σχήμα της ψήκτρας. Είναι γνωστό από την φυσική ότι η θερμότητα απάγεται από τις

ακμές. Επίσης, αναζητείται η μέγιστη ροή αέρα, η οποία διαπερνώντας την ψήκτρα θα απάγει με το καλύτερο τρόπο την θερμοκρασία.

Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται μια τυπική ψήκτρα. Η κάτω επιφάνεια της είναι λεία για καλύτερη εφαρμογή. Το πάνω μέρος χαρακτηρίζεται από τις ευθείες πλάκες αλουμινίου. Με αυτό το τρόπο αυξάνεται η επιφάνεια που μπορεί και διαπερνά ο αέρας και φυσικά και ο αριθμός των ακμών. Εάν για παράδειγμα ήταν μια συμπαγής επιφάνεια, τότε η επιφάνεια που θα χτυπούσε ο αέρας θα ήταν μονό μια αυτή του πάνω μέρους που είναι και τοποθετημένος ο ανεμιστήρας.

**Εικόνα 17**

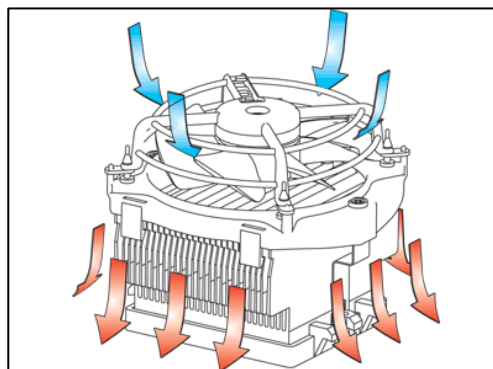
**Τυπική ψήκτρα αλουμινίου**



Πηγή: <http://images.google.gr>

**Εικόνα 18**

**Η ροή του αέρα σε μια ψήκτρα**



Πηγή: <http://images.google.gr>

Η πρώτη μορφή ψηκτρών ήταν και η πιο απλή και φυσικά και η πιο χαμηλή από θέμα κόστους. Τόσο το σχήμα όσο και η υλοποίηση της ψήκτρας είναι απλή. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα πιο διαδεδομένα χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων είναι η ταχύτητα ώθησης του αέρα και ο θόρυβος τους. Η εμπειρία έχει δείξει ότι όσο αυξάνει η απόδοση του ανεμιστήρα τόσο αυξάνει και ο θόρυβος του.



Στην συνεχεία παρατηρήθηκε ότι πέρα από το υλικό, τον ανεμιστήρα και την λίγο βελτιωμένη ποιότητα κατασκευής της ψήκτρας τον σημαντικότερο ρολό τελικά τον παίζει η σχεδίαση καθώς και το μέγεθος της ίδιας της ψήκτρας. Έτσι, ακολούθησε η νέα γενιά ψηκτρών. Χαρακτηριστικές μορφές νέων ψηκτρών ολοκληρωμένων συστημάτων και διατάξεων παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί.

**Εικόνα 19**  
**Η νέα γενιά ψηκτρών**



Πηγή: <http://images.google.gr>

Οι αλλαγές που παρατηρούνται, είναι ότι ο ανεμιστήρας πια έχει τοποθετηθεί στο κέντρο και μέσα στην ψήκτρα. Από τετράγωνη η ψήκτρα έγινε στρογγυλή, και η βάση επαφής έγινε μικρότερη.

Επομένως, η χρήση των ψηκτρών ως μέσο μείωσης της υπερθέρμανσης σε ηλεκτρονικές διατάξεις αποτελεί ένα φθηνό και τις περισσότερες φορές αρκετά αποδοτικό<sup>51</sup>.

---

### ***3.1.2. Τα πλεονεκτήματα του ψυκτικού κύκλου του αέρα***

---

Ο ψυκτικός κύκλος του αέρα παρουσιάζει κάποια μοναδικά πλεονεκτήματα, σε σχέση με άλλα ψυκτικά μέσα, τα οποία συνοψίζονται στα εξής<sup>52</sup>:

- 1) Ο αέρας είναι ένα ασφαλές και (προφανώς) μη τοξικό ψυκτικό μέσον.
- 2) Ο εξοπλισμός του ψυκτικού κύκλου αέρα είναι ανθεκτικός και αξιόπιστος.

---

<sup>51</sup> Χαλκιάς Σ. (1988), «Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα

<sup>52</sup> Χαλκιάς Σ. (1988), «Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα

- 3) Η απόδοση του κύκλου αέρα δεν πέφτει τόσο δραματικά, όπως του κύκλου εκτόνωσης – συμπίεσης των συμβατικών ψυκτικών αερίων, όταν λειτουργεί μακριά από το σημείο σχεδιασμού.

---

### **3.1.3. Η εφαρμογή της ψύκτρας στον ηλεκτρονικούς υπολογιστές**

---

Ο επεξεργαστής, είτε υπερχρονίζεται είτε όχι, αποτελεί ίσως την πιο σημαντική πηγή θερμότητας ενός υπολογιστή. Εξίσου σημαντικό είναι θερμοκρασία του να διατηρείται πάντα σε χαμηλά επίπεδα.

Πρωταρχικός σκοπός μιας ψύκτρας είναι να διατηρήσει τη θερμοκρασία ενός επεξεργαστή σε χαμηλά σχετικά επίπεδα. Η θερμότητα ρέει πάντα από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας (CPU) σε ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας (περιβάλλον). Αυτήν τη ροή πρέπει να επιταχύνει η ψύκτρα. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να απομακρυνθεί από τον επεξεργαστή όσο γίνεται περισσότερη θερμότητα σε όσο γίνεται μικρότερο χρόνο. Στο σύστημα επεξεργαστή - ψύκτρας ουσιαστικά συμβαίνουν δύο είδη μεταφοράς θερμότητας: η μεταφορά με αγωγή και η μεταφορά με συναγωγή. Αυτό σημαίνει ότι θερμότητα με αγωγή είναι αυτή που παρατηρείται μεταξύ δύο ενωμένων και ακίνητων μεταξύ τους υλικών, στην προκειμένη περίπτωση μεταξύ του επεξεργαστή και του αλουμινίου, αλλά και μεταξύ της αλουμινένιας κατασκευής και του πολύ λεπτού στρώματος αέρα που την περιβάλλει. Ο δεύτερος τρόπος, η μεταφορά με συναγωγή, οφείλεται σε μετακίνηση μάζας ρευστού από μια θέση του χώρου σε άλλη. Το ρευστό που μετακινείται φέρει μαζί του και την ενέργεια που περιέχει. Στην προκειμένη περίπτωση θερμότητα με συναγωγή υπάρχει μεταξύ αλουμινένιας κατασκευής και ανεμιστήρα στην ψύκτρα.

Στις ψύκτρες εφαρμόζεται η παραδοχή ότι η θερμότητα με αγωγή ρέει μονοδιάστατα από την επιφάνεια του επεξεργαστή προς την αλουμινένια κατασκευή. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο υλικών τόσο περισσότερη θερμότητα μεταφέρεται. Στους επεξεργαστές βέβαια, το εμβαδόν είναι προκαθορισμένο και δεν γίνεται να μεγαλώσει. Αυτό όμως που μπορεί να μεγαλώσει είναι η επιφάνεια επαφής μεταξύ ψύκτρας και αέρα. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ψύκτρες έχουν πολλά μικρά ποδαράκια και δεν είναι συμπαγή υλικά. Το εμβαδόν της επιφάνειας με τον αέρα είναι πολύ μεγαλύτερο.

Το λεπτό στρώμα αέρα που περιβάλλει την ψύκτρα θερμαίνεται σχετικά γρήγορα εξαιτίας της μεταφοράς με αγωγή. Ο ρόλος του ανεμιστήρα είναι να φέρει νέα μόρια αέρα σαφώς ψυχρότερα, τα οποία αφενός θα απομακρύνουν κατά ένα ποσοστό τα παλιά και αφετέρου θα ψύξουν τα υπόλοιπα που θα μείνουν, λόγω του ότι η θερμότητα θα πηγαίνει από τα θερμά μόρια στα ψυχρότερα. Ουσιαστικά δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα επάνω στην αλουμινένια κατασκευή, το οποίο, καθώς κινείται, μεταφέρει και θερμότητα (συναγωγή) από την ψύκτρα.

Το τελευταίο ερώτημα που μένει να απαντηθεί είναι γιατί χρησιμοποιείται το αλουμίνιο ως υλικό κατασκευής. Πολύ απλά γιατί είναι ένα φθηνό υλικό το οποίο είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας. Τελευταία πάντως εμφανίστηκαν και προϊόντα που χρησιμοποιούν το χαλκό αντί του αλουμινίου.

Παραπάνω εξηγήθηκε γιατί μια ψύκτρα φτιάχνεται από αλουμίνιο και γιατί έχει το σχήμα που έχει και συνοδεύεται από ανεμιστήρα.. Όπως συμβαίνει συνήθως, έτσι και εδώ, καμιά ψύκτρα δεν είναι τέλεια. Το πιο χαρακτηριστικό πρόβλημα που συναντάται είναι η μη τέλεια εφαρμογή μεταξύ επεξεργαστή και ψύκτρας. Αν παρατηρήσει κανείς την επιφάνεια επαφής μιας ψύκτρας με έναν επεξεργαστή, το πρώτο πράγμα που θα διαπιστώσει είναι ότι αυτή δεν είναι λεία. Αυτό σημαίνει ότι πρακτικά η θερμότητα που μεταφέρεται από αγωγή είναι πολύ μικρότερη από όση προβλεπόταν θεωρητικά. Το πρόβλημα αυτό μπορείτε να το λυθεί χρησιμοποιώντας μια αγωγήμη αλοιφή,

Οι ψύκτρες μπορούν να μειώσουν δραματικά τη θερμοκρασία, αποφεύγοντας φαινόμενα υπερθέρμανσης. Αυτό είναι και το μοναδικό τους βασικότατο όμως πλεονέκτημα. Ο αποτελεσματικός αερισμός του υπολογιστή και κυρίως του επεξεργαστή δεν είναι και τόσο απλή υπόθεση. Συνήθως οι λύσεις που προσφέρονται από τους διάφορους κατασκευαστές είναι ικανοποιητικές. Τα προβλήματα αρχίζουν όταν δουλεύει σε εξαιρετικά θερμό περιβάλλον (400° C και πάνω). Αν ο υπολογιστής συμπεριφέρεται «ανώμαλα», τότε υπάρχει σημαντική πιθανότητα να υπερθερμαίνεται κάποιο από τα τμήματά του<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Χαλικιάς Σ. (1988), «Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα

---

### 3.2. Η ψύξη με μέσο απαγωγής το νερό

---

Το επόμενο βήμα στην ψύξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και διατάξεων που υπάρχουν αξιοποίησαν το νερό. Η ιδέα της εφαρμογής του νερού προήρθε από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Είναι ρευστό, οπότε είναι εύκολη η κίνηση του, ιδιαίτερα χαμηλό σε κόστος και η θερμοχωρητικότητα του είναι μια από τις καλύτερες εάν όχι η καλύτερη σε γνωστά υλικά.

Η εφαρμογή του νερού σε συστήματα θέρμανσης και παράγωγης ατμού είναι γνωστή. Επίσης είναι γνωστή και η εφαρμογή του σε συστήματα ψύξης αυτοκίνητων, σε ατμομηχανές των παλιών τρένων και στα καλοριφέρ των σπιτιών.

Η ιδέα για την εφαρμογή του και στην ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων βασίστηκε στα προηγούμενα παραδείγματα. Πιο συγκεκριμένα, για παράδειγμα στα καλοριφέρ ο καυστήρας ζεσταίνει το νερό, η αντλία το κινεί μεταφέροντας το στα «σώματα» μέσα στο σπίτι μεταφέροντας τελικά την θερμότητα στον χώρο. Εάν σαν πηγή θερμότητας αντικατασταθεί ο καυστήρας με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, τότε το σύστημα που θα κατασκευαστεί, σε θεωρητικό επίπεδο, θα μεταφέρει την θερμότητα της ηλεκτρονικής διάταξης σ' έναν άλλο χώρο και θα αποβάλει την εκλυόμενη θερμότητα στο περιβάλλον.

Παρατηρώντας το και αντίστροφα, στη περίπτωση των αυτοκίνητων ο αέρας ψύχει το ψυγείο που βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου και αυτό με την σειρά του ψύχει το νερό που περνά από μέσα του. Η αντλία προωθεί το «κρύο» νερό γύρω από την μηχανή με αποτέλεσμα την ψύξης της. Αντικαθιστώντας και εδώ την μηχανή με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να βγει το ίδιο αποτέλεσμα όπως και πριν.

Στα παραδείγματα αυτά το τελικό ζητούμενο είναι η απομάκρυνση της θερμότητας χρησιμοποιώντας το νερό σαν αγωγό. Το ουσιαστικό και μεγαλύτερο κέρδος εφαρμόζοντας την ψύξη με νερό είναι, πέρα από την μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα του νερού σε σύγκριση με τον αέρα, η μεταφορά της θερμότητας μακριά από την πηγή της σε μια άλλη μονάδα ψύξης.

Βεβαία το χαμηλότερο σημείο το οποίο μπορεί να επιτευχθεί, είναι η θερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται το ολοκληρωμένο σύστημα ή η διάταξη. Το ίδιο όριο έχει και η περίπτωση της αεροψύξης, αλλά η μονάδα ψύξης

στην υδρόψυξη λόγω του ότι είναι μακριά από την κύρια μονάδα έκλυσης της θερμότητας επιτρέπει να χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες επιφάνειες θερμοαπαγωγής.

Για μια ολοκληρωμένη εικόνα, θα ακολουθήσει μια σύντομη επεξήγηση για τον κύκλο του νερού σε ένα σύστημα υδρόψυξης. Ένας από τους συνηθέστερους κύκλους ροής του νερού θέλει την αντλία να κινεί το νερό προς το ψυγείο όπου και ψύχεται, κατόπιν στο block του εκάστοτε ολοκληρωμένου κυκλώματος, στην συνέχεια να πηγαίνει στο τανκ (ορολογία για ένα απλό δοχείο νερού) και από εκεί τελικά καταλήγει στην είσοδο της αντλίας όπου και διέρχεται μέχρι να φτάσει στην έξοδο της και ξανά στο ψυγείο.

Το νερό στο κύκλωμα σ' αυτήν την περίπτωση τείνει να έχει την ίδια θερμοκρασία σε όλη την πορεία του, όπως και στην περίπτωση του αυτοκίνητου που μετά την εκκίνηση του και με την πάροδο ενός μικρού χρονικού διαστήματος, το νερό του συστήματος ψύξης έχει την ίδια σταθερή θερμοκρασία.

Αντίθετα με την θερμική ισορροπία του νερού, η ταχύτητα του αλλάζει συνεχώς καθώς περνάει από τα διάφορα εξαρτήματα του κυκλώματος. Όσο πιο στενή η οπή - διάδρομος, τόσο πιο πολύ αυξάνει και η ταχύτητα. Μάλιστα, όσο πιο γρήγορα κινείται το νερό στο κύκλωμα, τόσο πιο γρήγορα το κύκλωμα ή η διάταξη θα φτάσει στην θερμική ισορροπία. Λεπτό σημείο στην θερμική ισορροπία είναι το γεγονός ότι η τελική θερμοκρασία σε κατάσταση ισορροπίας είναι διαφορετική ανάλογα με το εκάστοτε σύστημα υδρόψυξης και της εκλυόμενης θερμοκρασίας των ολοκληρωμένων.

Μια σημαντική παρατήρηση όσο αναφορά τα υλικά μιας υδρόψυξης και ειδικά αυτά που είναι κατασκευασμένα από μέταλλο, είναι το είδος του μετάλλου που χρησιμοποιείται. Θεωρητικά, εάν τα block είναι κατασκευασμένα από χαλκό και το ψυγείο από αλουμίνιο υπάρχει καλύτερη μεταφορά της θερμότητας στο περιβάλλον. Η πράξη όμως οδήγησε στην χρήση στο 99% των περιπτώσεων στο χαλκό. Αυτό έγινε για δύο λόγους, ο πρώτος ήταν ότι ο χαλκός μπορεί να επεξεργαστεί καλύτερα για την κατασκευή των block και φυσικά έχει καλύτερη θερμική συμπεριφορά από το αλουμίνιο.

Ο δεύτερος λόγος είναι το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης. Λόγω του κινούμενου νερού που διέρχεται μέσα από τα υλικά, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικά μέταλλα, δημιουργείται ηλεκτρόλυση με δυσάρεστα αποτελέσματα όπως η διάβρωση τους. Η λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η προσθήκη ειδικών υγρών μέσα στο νερό. Η συγκεκριμένη λύση, βέβαια, ξεφεύγει στο κόστος χωρίς να

προσφέρει τεράστιες διαφορές στην θερμική συμπεριφορά. Μάλιστα, στην πράξη, στην υδρόψυξη που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές διατάξεις και τα ολοκληρωμένα οι διαφορές στην θερμοκρασία ενός χάλκινου block - αλουμινένιου ψυγείου σε σύγκριση χάλκινου block - χάλκινου ψυγείου, είναι από αμελητέες μέχρι ελάχιστες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ψυγεία ασχέτως του υλικού κατασκευής τους, είναι ικανά να μεταφέρουν στο περιβάλλον πολύ μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από αυτές που εκλύουν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία ψύχουν<sup>54</sup>.

---

### **3.2.1. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης υδρόψυξης**

---

Το βασικό πλεονέκτημα χρήσης μιας υδρόψυξης είναι η καλύτερη ψύξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των διατάξεων. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα των block να απορροφούν ταχύτατα την εκλυόμενη θερμότητα και να την μεταφέρουν στο νερό, που με τη σειρά του, έχοντας τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τα γνωστά υλικά, τη μεταφέρει και αυτό ταχύτατα, με τη βοήθεια της αντλίας στο ψυγείο. Το ψυγείο λόγω αυξημένης επιφάνειας και μεγαλύτερης απόστασης από την πηγή της εκλυόμενης θερμότητας, σε σχέση με τις αεροψήκτρες, και υποβοηθούμενο από ανεμιστήρες, μεταφέρει τη θερμότητα του νερού στο περιβάλλον.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα ποσά θερμότητας, μετρημένα σε watt, που μπορεί να διαχειριστεί μια υδρόψυξη είναι κατά μέσο όρο τριπλάσια από μια κλασική αεροψήκτρα.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα που οφείλεται στις χαμηλές στροφές λειτουργίας των ανεμιστήρων, είναι τα χαμηλά επίπεδα θορύβου. Αρκεί μια ενδεικτική συγκριτική δόκιμη που επιβεβαιώνει την ανωτερότητα της υδρόψυξης έναντι της αεροψύξης<sup>55</sup>.

---

<sup>54</sup> Morris J. (1996), «*Applied electronics*», Butterworth - Heinemann

<sup>55</sup> Χαλκιάς Σ. (1988), «*Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός*», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα

### 3.3. Η ψύξη με μέσο απαγωγής το αέριο

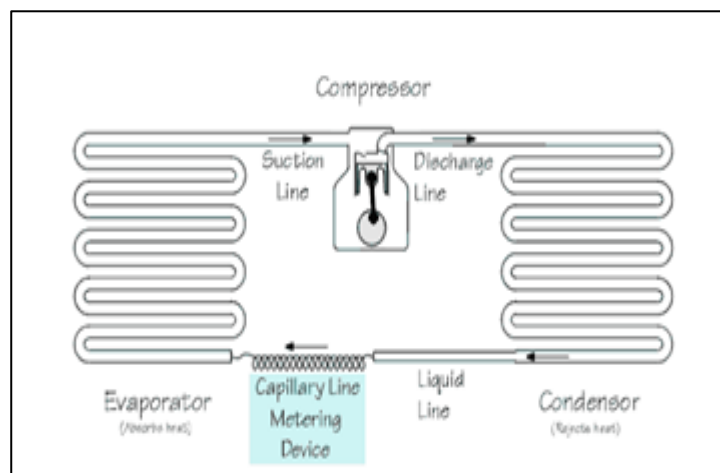
Με τους δύο προηγούμενους τρόπους ψύξης παρουσιάστηκαν, η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορούμε να επιτευχθεί, τόσο με την αερόψυξη, όσο και με την υδρόψυξη, είναι η θερμοκρασία του χώρου. Σε αυτή την κατηγορία θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να μειωθεί περισσότερο η θερμοκρασία κάτω από αυτήν του χώρου.

Η τεχνολογία που απαιτείται για την κατασκευή αυτής της υλοποίησης προέρχεται από τα οικιακά ψυγεία, τα οποία χρησιμοποιούν αέρια για να επιτύχουν την ψύξη. Μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας, κινούν τα αέρια αυτά μέσα στο χώρο ψύξης, επιτυγχάνοντας και διατηρώντας την προσδοκώμενη θερμοκρασία. Ο χώρος που ψύχεται, κυμαίνεται σε μέγεθος από μερικά τετραγωνικά δεκατόμετρα, μέχρι πολύ μεγαλύτερους χώρους. Αν ο χώρος περιοριστεί στα μερικά εκατοστά που αποτελούν την επιφάνεια ενός ολοκληρωμένου ή μιας διάταξης, τότε επιτυγχάνεται η ζητούμενη ψύξη.

Η νέα αυτή τεχνολογία, που συναντάται με την ορολογία Αλλαγή Φάσης (Phase -Change, Direct Die) ξεκίνησε το 2001. Η φιλοσοφία σχεδίασης - κατασκευής του phase-change δεν διαφέρει από αυτή της κατασκευής ενός κοινού οικιακού ψυγείου. Αναφορικά, τα υλικά κατασκευής ενός phase change είναι ο συμπιεστής (compressor), το φίλτρο λαδιού (oil filter), σωληνώσεις (εύκαμπτος - flexible pipe, τριχοειδής - capillary line, απλές χαλκοσωλήνες υψηλών πιέσεων), ο συμπυκνωτής (condenser), ο εξατμιστής (evaporator) και το αέριο (εικόνα 20).

#### Εικόνα 20

#### Η φιλοσοφία σχεδίασης - κατασκευής του phase-change

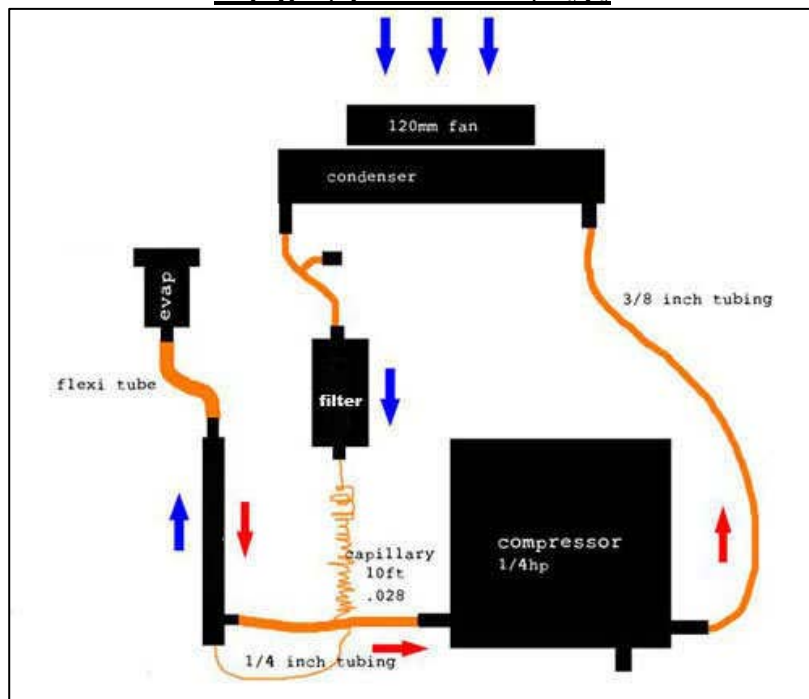


Πηγή: Morris, 1996

Για την ευκολότερη κατανόηση της ψύξης με τη χρήση αερίου, θα ακολουθήσει μια σύντομη περιγραφή του κύκλου ψύξης. Θεωρώντας ότι το σύστημα είναι γεμάτο με αέριο, ο κύκλος λειτουργίας ξεκινά από το συμπιεστή. Ο συμπιεστής μετατρέπει το αέριο σε υγρό, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας του. Στη συνέχεια οδηγείται, σαν υγρό πλέον, στο συμπυκνωτή, όπου και ψύχεται.

Ο αμέσως επόμενος σταθμός είναι το φίλτρο λαδιού, στο οποίο κατακρατούνται τα τυχόν υπολείμματα λαδιού που έχουν μείνει στο υγρό από τον συμπιεστή. Ακολούθως, το υγρό περνά από τον τριχοειδή σωλήνα και καταλήγει στον εξατμιστή όπου και αλλάζει η φάση του και ξαναγυρνάει σε αέρια μορφή. Η αλλαγή αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον. Στην προκειμένη περίπτωση απορροφάται η θερμότητα από το ολοκληρωμένο ή τη διάταξη που ψύχεται. Τελικά το αέριο επιστρέφει στον συμπιεστή από τον εύκαμπτο σωλήνα, εσωτερικά του οποίου διαπερνά και ο τριχοειδής και ξαναρχίζει από την αρχή ο θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας, με τον συμπιεστή να ξαναμετατρέπει το αέριο σε υγρό.

**Εικόνα 21**  
**Περιγραφή του κύκλου ψύξης**



Πηγή: Morris, 1996



Η ποσότητα της θερμότητας που διαχέεται στο περιβάλλον όταν το αέριο υγροποιείται, λόγω συμπίεσης του, είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ποσότητα που απορροφά κατά την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή όταν το υγρό γυρνάει στην αέρια μορφή του.

---

### **3.3.1. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης Phase - Change**

---

Το ένα και κύριο πλεονέκτημα της χρήσης Phase - Change είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες που μπορεί να επιτύχει. Μέχρι σήμερα καμία άλλη τεχνολογία ψύξης δεν έχει καταφέρει να πλησιάσει καν τις θερμοκρασίες απόδοσης της μεθόδου αυτής. Τα αποτελέσματα στις επιδόσεις των μηχανημάτων, του οποίου τα ολοκληρωμένα και οι διατάξεις ψύχονται με Phase-Change, είναι θεαματικά.

Στα μειονεκτήματα θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι, παρόλο που το τελικό αποτέλεσμα είναι ασύγκριτο, τελικά όμως, πρόκειται για ένα πολύ δύσκληστο σύστημα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά ασταθή και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα διαρροής. Για αυτό η μόνωση των υλικών και η συγκόλλησή τους πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά. Εκτός αυτού, τα υλικά δεν είναι και τόσο εύκολα να βρεθούν στην αγορά και το κόστος κατασκευής και χρήσης ενός τέτοιου συστήματος ξεπερνάει κατά πολύ το κόστος των άλλων μεθόδων ψύξης<sup>56</sup>.

---

### **3.4. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ψύξης για μια ηλεκτρονική διάταξη**

---

Με την αύξηση της θερμότητας, η θερμική διαχείριση γίνεται όλο και πιο σημαντικό στοιχείο του σχεδιασμού των ηλεκτρονικών διατάξεων. Τόσο οι επιδόσεις, η αξιοπιστία και το προσδόκιμο ζωής μιας ηλεκτρονικής διάταξης είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία. Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και του προσδόκιμου ζωής λειτουργίας μια διάταξης, δείχνει ότι η μείωση της θερμοκρασίας αντιστοιχεί σε μια εκθετική αύξηση του προσδόκιμου ζωής και της αξιοπιστίας της ηλεκτρονικής διάταξης.

---

<sup>56</sup> Χαλκιάς Σ. (1988), «Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα

Όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατό τα σύγχρονα ψυκτικά μέσα να ανταποκρίνονται με απόλυτη επιτυχία στη ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια βασικά δεδομένα και προδιαγραφές που δίνονται από τους κατασκευαστές για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ψύξης.

Από ηλεκτρονικής άποψης, μια ψυκτική εγκατάσταση έχει ως ζωτική ανάγκη ένα σωστό σύστημα ελέγχου, το οποίο θα καθορίσει όχι μόνο με επιτυχία, αλλά και με σεβασμό προς το περιβάλλον λαμβάνοντας υπ' όψιν τον παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας, την λειτουργία της μονάδας με στόχο το επιθυμητό αποτέλεσμα. Διάφορα μέσα χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά, ανάλογα τις ιδιότητες τους σε σχέση με την εφαρμογή.

Η επιλογή της μεθόδου ψύξης επηρεάζει άμεσα την απόδοση μιας ηλεκτρονικής διάταξης όπως επίσης και το κόστος λειτουργίας της. Η επιλογή των ψυκτικών συστημάτων τις περισσότερες φορές γίνεται με μόνο κριτήριο την απαιτούμενη ψυκτική ικανότητα του συστήματος, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η απόδοση, το κόστος της ψύξης και τα πιθανά κριτήρια που θέτει ο κατασκευαστής. Η αποδοτική λειτουργία ενός ψυκτικού συστήματος είναι αναμφίβολα συνδυασμένη με το σκοπό της αγοράς του, το σχεδιασμό του, την εγκατάσταση και τη χρήση του.

Παρά το γεγονός ότι δεν μπορούν να τροποποιηθούν σε ουσιαστικό βαθμό τα όρια της υπερφόρτωσης, τα περισσότερα στοιχεία ισχύος έχουν δυνατότητες υπερφόρτωσης, που υπερβαίνουν κατά πολύ τους περιορισμούς μέσης ισχύος κατά μια τάξη μεγέθους ή και περισσότερο. Στην πραγματικότητα εκείνο που έχει σημασία δεν είναι η στιγμιαία ισχύς, αλλά η συνολική ποσότητα ενέργειας που δαπανάται μέσα στο στοιχείο κατά τη διάρκεια του μεταβατικού φαινομένου. Οι περιορισμοί υπερφόρτωσης περιλαμβάνουν όχι μόνο έναν περιορισμό (προδιαγραφή) στιγμιαίας ισχύος, αλλά και τη διάρκεια της.

Κατά τη σχεδίαση μιας ηλεκτρονικής διάταξης, ειδικά όταν προορίζεται για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το θερμικό πρόβλημα εξετάζεται σε πρώιμο στάδιο. Το μέγεθος και το βάρος του απαγωγού θερμότητας, η θέση του στην ηλεκτρονική διάταξη και η περιβάλλουσα θερμοκρασία εξετάζονται στο αρχικό στάδιο της σχεδίασης. Είναι σημαντικό να μπορούν να τοποθετηθούν οι απαγωγείς θερμότητας με τα άκρα τους σε κατακόρυφη θέση και με άνεση χώρου, ώστε ο αέρας να μεταφέρεται φυσικά, χωρίς τη χρήση ανεμιστήρα. Αυτό και μόνο το στοιχείο μπορεί να αποτελέσει βασικό παράγοντα που θα ρυθμίσει την επιλογή της τελικής μεθόδου με την οποία θα ψυχθεί μια διάταξη.

Ακόμη, λαμβάνονται υπόψη η πιθανότητα θέρμανσης από τον ήλιο ή από εξωγενείς παράγοντες. Ένας κακός σχεδιασμός κάνει τη διάταξη λιγότερο αξιόπιστη από ότι αρχικά προορίζεται. Ο ρυθμός καταστροφής των ημιαγωγικών στοιχείων διπλασιάζεται για κάθε 10-15° C αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 50° C. Η επιλογή του σωστού (πλέον οικονομικού στην παραγωγή) απαγωγού θερμότητας (Heat sink) αποτελεί ένα μέρος της θερμικής σχεδίασης μιας ηλεκτρονικής διάταξης.

Τέλος, ο χρήστης πρέπει ν' αποφασίσει εάν θα χρησιμοποιήσει έναν μεγάλο ή μικρό επαγωγό θερμότητας και τον τρόπο με τον οποίο αυτός θα ψύχεται. Εάν δηλαδή θα ψύχεται με φυσική μεταφορά της θερμότητας ή με ανεμιστήρα ή ακόμη και με τη χρήση ψυκτικού υγρού<sup>57</sup>. Σαν γενικοί κανόνες επιλογής της μεθόδου ψύξης, μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω<sup>58</sup>:

- 1) Η ασφάλεια. Πρωταρχικός παράγοντας επιλογής μεθόδου ψύξης, είναι η βεβαιότητα ότι θα λειτουργήσει με πλήρη ασφάλεια.
- 2) Η επάρκεια. Μια οποιαδήποτε διάταξη πρέπει να είναι αποτελεσματική, και λειτουργική, για να ικανοποιεί τους χρήστες της. Αποτελεσματική είναι μια εγκατάσταση ψύξης η οποία επιτυγχάνει γρήγορα την πλήρη προσέγγιση των κλιματικών προδιαγραφών του εσωκλίματος για το οποίο έχει σχεδιαστεί.
- 3) Η αξιοπιστία. Μια αξιόπιστη ψυκτική διάταξη είναι πάντοτε έτοιμη να λειτουργήσει και να επιτύχει τους στόχους για τους οποίους κατασκευάστηκε. Παρουσιάζει επομένως ελάχιστες βλάβες και συντηρείται προγραμματισμένα, ώστε συνεχώς να βρίσκεται σε ετοιμότητα. Η αξιοπιστία μιας ψυκτικής εγκατάστασης συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του εξοπλισμού και τη συνεργασία των στοιχείων τα οποία την απαρτίζουν. Η σωστή επιλογή ψυκτικής μεθόδου, η επιμελημένη κατασκευή και η καλή συντήρηση, μπορούν μόνο σε αρμονικό συνδυασμό να προσδώσουν αξιοπιστία σε μια ηλεκτρονική διάταξη.
- 4) Η οικονομικότητα. Οι οικονομικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη λειτουργία μιας ηλεκτρονικής διάταξης, είναι εξαιρετικά σημαντικοί. Με την επιλογή του συστήματος ψύξης αλλά και του εξοπλισμού ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει να ικανοποιηθούν τόσο ο κατασκευαστής ο οποίος επιδιώκει μικρό κατασκευαστικό κόστος, όσο και ο χρήστης που ενδιαφέρεται

---

<sup>57</sup> Γκανέτσος Θ. (2005), «Ηλεκτρονικά ισχύος», Σημειώσεις μαθήματος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λαμίας, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Λαμία

<sup>58</sup> Σελλούντος Β. (2002), «Θέρμανση – Κλιματισμός», Τόμος Α', Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ Εκδοτική, Αθήνα

για το κόστος λειτουργίας. Η λύση για τις περισσότερες περιπτώσεις ηλεκτρονικών διατάξεων, δεν είναι η εισαγωγή συστημάτων ψύξης υπερβολικά υψηλής ποιότητας, ούτε και η χρησιμοποίηση εξαιρετικά δαπανηρού ακραίας τεχνολογίας εξοπλισμού, γιατί μια τέτοια απόφαση επιβαρύνει υπέρμετρα το αρχικό κόστος. Η οικονομικότητα μιας ψυκτικής μεθόδου αναζητείται με βάση ρεαλιστικούς οικονομοτεχνικούς υπολογισμούς.

Η επιλογή του κατάλληλου και σωστού συστήματος ψύξης μιας ηλεκτρονικής διάταξης είναι μια κρίσιμη απόφαση. Από αυτή την απόφαση εξαρτάται η μακροβιότητα της ηλεκτρονικής διάταξης και η ικανοποίηση του τελικού χρήστη.

---

### **3.5. Τα βασικά κριτήρια επιλογής ψύκτρας**

---

Με το πέρασμα του χρόνου, οι ηλεκτρονικές διατάξεις γίνονται όλο και πιο σύνθετα και ενεργοβόρα κυκλώματα. Αυτό έχει αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή θερμότητας κατά τη λειτουργία τους, θερμότητα που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στη λειτουργία τους. Έτσι, η σωστή απαγωγή της είναι αναγκαία για κάθε σύγχρονη διάταξη υπολογιστή.

Ειδική περίπτωση, αποτελούν οι ηλεκτρονικές διατάξεις των υπολογιστών. Δεν υπάρχει υπολογιστής που να μην απαιτεί την ύπαρξη ψύκτρας και ανεμιστήρα για να λειτουργήσει σωστά. Ωστόσο, δεν απάγουν όλες οι ψύκτρες τη θερμότητα ούτε με τον ίδιο τρόπο, ούτε στην ίδια ποσότητα.

Για την απομάκρυνση της θερμότητας, οι κατασκευαστές συστήνουν την επιλογή κατάλληλης μεθόδου όπως τις κοινές ψήκτρες με ανεμιστήρα και, σε ακραίες εφαρμογές, Peltiers (TEC) και συστήματα υδρόψυξης.

Οι κατασκευαστές, θεωρούν το αλουμίνιο ως το πιο δημοφιλές υλικό κατασκευής κάθε είδους ψήκτρας, κυρίως λόγω του κόστους αλλά και της ευκολίας κατά την μηχανουργική επεξεργασία του. Ο χαλκός γίνεται όλο και πιο δημοφιλής από τις εταιρίες, αλλά η 3,5 σχεδόν φορές μεγαλύτερη πυκνότητά του από το αλουμίνιο το καθιστούν δύσκολο στην επεξεργασία (άρα και ακριβότερο), ενώ είναι και αρκετά βαρύτερος, κάτι που δεν συμβαδίζει με τις προδιαγραφές εταιριών κατασκευής ηλεκτρονικών διατάξεων, σχετικά με το βάρος των ψυκτρών.

Για το λόγω αυτό κάποιες εταιρίες υιοθετούν λύσεις που συνδυάζουν αλουμίνιο και χαλκό, κάτι που έχει πλεονεκτήματά αλλά περιέχει επίσης και κατασκευαστικές προκλήσεις λόγω θερμικής αντίστασης επαφής μεταξύ των δύο ξένων υλικών. Τέλος το ασήμι χρησιμοποιείτε σε ελάχιστες περιπτώσεις, κυρίως λόγω κόστους.

Η επιλογή της ψύκτρας, από την πλευρά του χρήστη, βασίζεται σε μια σειρά παραγόντων όπως το μέγεθος, το κόστος, η απόδοση, το υλικό κατασκευής, η διάταξη για την οποία προορίζεται.

---

### 3.6. Οι προτάσεις των κατασκευαστών στη ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων

---

Η επιλογή της μεθόδου ψύξης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις προδιαγραφές που τίθενται από τον κατασκευαστή μιας ηλεκτρονικής διάταξης. Οι κατασκευαστές, σε γενικές γραμμές, χρησιμοποιούν τα χημικά που περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα για διαφορετικά φάσματα θερμοκρασιών.

#### Πίνακας

#### Διάφορα χημικά που χρησιμοποιούνται για διαφορετικά φάσματα θερμοκρασιών

<b>MEDIUM</b>	<b>MELTING PT. (°C)</b>	<b>BOILING PT. AT ATM. PRESSURE (°C)</b>	<b>USEFUL RANGE (°C)</b>
Helium	- 271	- 261	-271 to -269
Nitrogen	- 210	- 196	-203 to -160
Ammonia	- 78	- 33	-60 to 100
Acetone	- 95	57	0 to 120
Methanol	- 98	64	10 to 130
Flutec PP2	- 50	76	10 to 160
Ethanol	- 112	78	0 to 130
Water	0	100	30 to 200
Toluene	- 95	110	50 to 200
Mercury	- 39	361	250 to 650
Sodium	98	892	600 to 1200
Lithium	179	1340	1000 to 1800
Silver	960	2212	1800 to 2300

Πηγή: <http://images.google.gr>

Η διατήρηση της θερμοκρασίας μιας ηλεκτρονικής διάταξης μέσα σε λογικά όρια, είναι κοινή ευθύνη του κατασκευαστή και του χρήστη. Ο κατασκευαστής, ελαχιστοποιεί τη θερμική αντίσταση  $R_{\theta jc}$  μεταξύ του εσωτερικού του στοιχείου, όπου καταναλώνεται η ισχύς, και της εξωτερικής επιφάνειας της θήκης η οποία περικλείει το στοιχείο.

Ο χρήστης της διάταξης πρέπει να εξασφαλίζει μια διαδρομή της θερμότητας μεταξύ του περιβλήματος και του περιβάλλοντος, όπου τελικά δαπανάται η θερμότητα που παράγεται μέσα στο στοιχείο, ώστε η αντίστοιχη θερμική αντίσταση  $R_{\theta ca}$  να ελαχιστοποιείται με το λιγότερο δυνατό κόστος.

Η ευθύνη του χρήστη διευκολύνεται από το γεγονός ότι έχει στη διάθεση του μια μεγάλη ποικιλία απαγωγών θερμότητας. Οι απαγωγείς θερμότητας είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο σε διάφορα σχήματα και χρησιμοποιούνται για την ψύξη των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος. Εάν οι απαγωγείς θερμότητας ψύχονται με φυσική μεταφορά, η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων, πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 - 15 mm. Μια επικάλυψη με μαύρο οξειδίο ελαττώνει τη θερμική αντίσταση κατά 25%, αλλά αυξάνει το κόστος περίπου το ίδιο ποσοστό. Οι θερμικές σταθερές χρόνου των απαγωγών θερμότητας, που ψύχονται με φυσική μεταφορά, είναι της τάξης των 4 - 15 mm. Με την προσθήκη ανεμιστήρα η θερμική αντίσταση ελαττώνεται και ο επαγωγός θερμότητας μπορεί να γίνει μικρότερος και ελαφρύτερος, πράγμα που ελαττώνει και τη θερμική χωρητικότητα  $C_s$ . Η θερμική σταθερά χρόνου των απαγωγών θερμότητας με εξαναγκασμένη ψύξη είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των απαγωγών που ψύχονται με φυσική μεταφορά. Τυπικές τιμές της θερμικής σταθεράς χρόνου των απαγωγών θερμότητας με εξαναγκασμένη ψύξη μπορεί να είναι μικρότερες από 1 mm. Οι αποστάσεις μεταξύ των ψυκτικών πτερυγίων στους επαγωγούς θερμότητας που χρησιμοποιούν εξαναγκασμένη ψύξη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από λίγα χιλιοστά. Σε μεγαλύτερη ισχύ, για την περαιτέρω βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται ψύξη με νερό ή λάδι.

Η επιλογή του κατάλληλου απαγωγού θερμότητας από τον κατασκευαστή εξαρτάται από τη μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αντέξει η επαφή. Στη σχεδίαση, που αντιστοιχεί στη χειρότερη περίπτωση, προδιαγράφονται η μέγιστη θερμοκρασία της επαφής  $T_{j,max}$ , η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{a,max}$ , η μέγιστη τάση λειτουργίας, και το μέγιστο ρεύμα στην κατάσταση αγωγιμότητας. Οι μέγιστες απώλειες ισχύος, που αντιστοιχούν στην κατάσταση αγωγιμότητας του στοιχείου, μπορούν να υπολογιστούν, αν είναι γνωστά το μέγιστο ρεύμα αγωγής, η

σχετική διάρκεια αγωγής και η μέγιστη αντίσταση στην κατάσταση αγωγιμότητας. Οι απώλειες μετάβασης υπολογίζονται με ολοκλήρωση ως προς τον χρόνο της στιγμιαίας απώλειας ισχύος και υπολογισμό της μέσης τιμής, που αντιστοιχεί στην περίοδο μετάβασης. Στη συνέχεια υπολογίζεται η κατανάλωση ισχύος  $P_{loss}$ , η οποία είναι το άθροισμα των απωλειών στην κατάσταση αγωγιμότητας και της μέσης τιμής των απωλειών μετάβασης. Από αυτές τις πληροφορίες η μέγιστη επιτρεπτή θερμική αντίσταση επαφής -περιβάλλοντος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$R_{\theta ja} = (T_{j,max} - T_{a,max})/P_{loss}$$

Η θερμική αντίσταση επαφής - περιβάλλοντος  $R_{\theta jc}$  μπορεί να υπολογιστεί από τα φυλλάδια των προδιαγραφών του ημιαγωγικού στοιχείου και η θερμική αντίσταση περιβλήματος-απαγωγού  $R_{\theta cs}$  εξαρτάται από το θερμικό πρόσθετο και το μονωτικό. Η θερμική αντίσταση των μονωτικών αναγράφεται σε εγχειρίδια και στα φυλλάδια των κατασκευαστών.

Όταν χρησιμοποιείται ένας από τους παραπάνω απαγωγούς θερμότητας, πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες του κατασκευαστή. Μια λανθασμένη τοποθέτηση πάνω στον απαγωγό θερμότητας μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγαλύτερες τιμές της θερμικής αντίστασης  $R_{\theta sa}$  και σε μη ανεκτές υψηλές θερμοκρασίες της επαφής κατά την κανονική λειτουργία της ηλεκτρονικής διάταξης. Για παράδειγμα, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μια μικρή ποσότητα θερμικού γράσου, για ν' αυξηθεί το εμβαδόν επαφής μεταξύ του στοιχείου και του απαγωγού θερμότητας. Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι το θερμικό γράσο χρησιμοποιείται μόνο για να απομακρύνει τον αέρα από τα μικροσκοπικά αιχμηρά σημεία μεταξύ των γειτονικών επιφανειών (μίκας - απαγωγού θερμότητας και μίκας - transistor) χρησιμοποιώντας έτσι όλο το εμβαδόν της επιφάνειας για την αγωγή της θερμότητας. Εάν χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ προσθετικό, το στρώμα θα είναι υπερβολικά παχύ και θα αυξηθεί η θερμική αντίσταση.

Για να έχει ένα σύστημα μεγάλη αξιοπιστία, πρέπει να σχεδιαστεί για μια μέγιστη θερμοκρασία επαφής 20 - 40° C κάτω από τους 125° C. Διαφορετικά ορίζεται συνήθως ως μέγιστη θερμοκρασία σχεδίασης οι 125° C. Εξαίρεση αποτελεί η μέγιστη θερμοκρασία επαφής του θυρίστορ, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη των 125° C. Τα θυρίστορ μπορεί να επαναδιεγερθούν ή να μη λειτουργήσουν σωστά,

όταν η θερμοκρασία της επαφής τους ξεπερνά τους 125° C, ενώ ταυτόχρονα εφαρμόζεται στο στοιχείο η μέγιστη επιτρεπτή τιμή της παραγώγου  $dv/dt$ .

Μερικά ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα, μπορούν να λειτουργούν σε θερμοκρασίες ελαφρά υψηλότερες από τους 200° C, αλλά η αξιοπιστία τους (αναμενόμενος χρόνος ζωής) είναι μικρή και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους μπορεί να είναι φτωχά σε σύγκριση με αυτά που αντιστοιχούν, για παράδειγμα στους 125°

Επιπλέον, ο κατασκευαστής δεν εγγυάται τις παραμέτρους για θερμοκρασίες πάνω από τη μέγιστη οριζόμενη στο φυλλάδιο δεδομένων. Εάν ο χρήστης ή ο κατασκευαστής μιας ηλεκτρονικής διάταξης επιλέξει τη λειτουργία της πάνω από τη μέγιστη θερμοκρασία, που ορίζεται στο φυλλάδιο δεδομένων, τότε ο σχεδιαστής ή ο κατασκευαστής θα πρέπει να εξετάσει έναν μεγάλο αριθμό στοιχείων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή<sup>59</sup>.

---

### **3.7. Εταιρείες παραγωγής συστημάτων ψύξης Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (H/Y)**

---

---

#### **3.7.1. Η εταιρεία CoolerMaster**

---

Η CoolerMaster αποτελεί μια σύγχρονη εταιρεία παραγωγής συστημάτων ψύξης ηλεκτρονικών διατάξεων, με όλα τα μέσα απαγωγής της θερμότητας.

Η κατασκευή των ψηκτρών ιδιαίτερα βασίζεται σε 3 ξεχωριστά sets αλουμινένιων fins (2 κάθετα και 1 οριζόντιο), που συνδέονται από 10 heat pipes φ6mm. Η συγκεκριμένη δομή προσφέρει άμεση ψύξη από την mirror - finished βάση σε μια μεγάλη επιφάνεια μείωσης της θερμοκρασίας.

Οι ψύκτρες της εταιρείας κατορθώνουν να έχουν τον πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας και της πιο ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής διάταξης,

Ο σχεδιασμός και η δομή των ψηκτρών είναι εμπνευσμένη από τις πιο σύγχρονες μηχανές και παράγει μεγάλη ισχύ για τον πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας.

---

<sup>59</sup> Γκανέτσος Θ. (2005), «Ηλεκτρονικά ισχύος», Σημειώσεις μαθήματος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λαμίας, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Λαμία



Οι ψύκτρες της εταιρείας αποτελούν τη βέλτιστη τεχνολογία ψύξης ενώ εξασφαλίζουν τον πλήρη αερισμό των ηλεκτρονικών διατάξεων του υπολογιστή<sup>60</sup>.

---

### **3.7.2. Η εταιρεία Thermalright**

---

Η Thermalright είναι μια εταιρεία που κατασκευάζει προϊόντα για την ψύξη του υπολογιστή. Κάθε προϊόν της εταιρείας έχει σκοπό την αντιμετώπιση της υψηλής τάσης και υψηλής θερμότητας με τον καινοτόμο σχεδιασμό και τις λύσεις ψύξης που προσφέρει.

Η εταιρεία ακολουθεί την εξέλιξη της τεχνολογίας των ψυκτών υπολογιστών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ψήκτρα HR-01 4U που αποτελείται από 4 heat pipes, είναι εφοδιασμένη με ειδικές τρύπες αερισμού και μπορεί να δεχθεί οποιοδήποτε ανεμιστήρα 92mm low rpm παρέχοντας με αυτό τον τρόπο την καλύτερη δυνατή ψύξη<sup>61</sup>.

Στα πλαίσια ολοκληρωμένων συστημάτων ψύξης, ακολουθώντας πρότυπα σύγχρονων εταιρειών συστημάτων ψύξης, προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης περισσότερων της μιας ψυκτικής μεθόδου, για μέγιστα δυνατά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν σύγχρονοι υπολογιστές που χρησιμοποιούν τις ψήκτρες για την ψύξη του επεξεργαστή και την υδρόψυξη για την ελάττωση της θερμοκρασίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

---

### **3.7.3. Η εταιρεία Xigmatek**

---

Η εταιρεία Xigmatek αποτελεί και ακόμα περίπτωση εταιρείας που παρέχει συστήματα και μεθόδους ψύξης ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σκοπός και στόχοι της εταιρείας είναι να καταστεί ένας από τους ηγέτες της αγοράς σε επίπεδο ψύξης.

Η εταιρεία παρέχει αξιόπιστες επιδόσεις ψύξης μέσω όλων των ψυκτικών μεθόδων. Ιδιαίτερη περίπτωση ωστόσο αποτελεί η ψήκτρα Xigmatek HDT-S1283

---

<sup>60</sup>CoolerMaster (2009), Στοιχεία από τον επίσημο διαδικτυακό ιστότοπο <http://www.coolermaster.com>, ημερ. προσπέλασης 14/06/2009

<sup>61</sup>Thermalright (2009), Στοιχεία από τον επίσημο διαδικτυακό ιστότοπο <http://www.thermalright.com/>, ημερ. προσπέλασης 14/06/2009

που είναι η πρώτη ψύκτρα παγκοσμίως μαζί με την HDT-S963 που τα heatpipes έρχονται σ' απευθείας επαφή με τον επεξεργαστή ενός υπολογιστή, χωρίς την μεσολάβηση κάποιας βάσης. Με αυτήν την μέθοδο κατασκευής της ψύκτρας, επιτυγχάνονται καλύτερες θερμοκρασίες και πολύ ταχύτερη μεταφορά και αποβολή θερμότητας. Αυτός άλλωστε είναι και ο βασικότερος στόχος όλων των ψυκτικών συστημάτων που προσφέρονται από την εταιρεία. Η Xigmatek αξιοποιεί πλήρως τα τεχνολογικά επιτεύγματα, προσφέροντας όχι μόνο συστήματα ψύξης, αλλά και που πολλές φορές αποτελούν κατασκευαστικό πρότυπο άλλων εταιρειών<sup>62</sup>.

---

<sup>62</sup> Xigmatek (2009), Στοιχεία από τον επίσημο διαδικτυακό ιστότοπο <http://www.xigmatek.com/>, ημερ. προσπέλασης 15/06/2009

---

## **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>**

### **Θερμικές αντιστάσεις – Πρακτικές εφαρμογές υπολογισμού ψήκτρας σε τρανζίστορ**

---

---

**Θερμότητα και θερμικές αντιστάσεις**


---

Όταν ένα τεμάχιο υλικού, έχει μια διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα του, υπάρχει μια ροή ενέργειας από το άκρο με την υψηλότερη θερμοκρασία προς το άκρο με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Η ροή ενέργειας ανά μονάδα του χρόνου, δηλαδή η ισχύς δίδεται από τη σχέση:

$$P_{cond} = \frac{\lambda A \Delta T}{d}$$

όπου  $\Delta T = T_2 - T_1$  σε  $^{\circ}\text{C}$ ,  $A$  είναι το εμβαδόν της διατομής σε  $\text{m}^2$ ,  $d$  είναι το μήκος σε  $\text{m}$  και  $\lambda$  είναι η θερμική αγωγιμότητα σε  $\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ . Για αλουμίνιο καθαρότητας 90%, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για επαγωγούς θερμότητας, η θερμική αγωγιμότητα είναι  $220 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ .

Σε μερικές περιπτώσεις, ο χρήστης ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος πρέπει να εξετάσει τη μεταβατική θερμική απόκριση της διάταξης που χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια μεταβατικών υπερφορτίσεων ή κατά την αύξηση και κατά την ελάττωση της ισχύος σ' ένα σύστημα που περιέχει στοιχεία ισχύος, η στιγμιαία κατανάλωση ισχύος στα στοιχεία ίσως να υπερβεί κατά πολύ τον μέσο περιορισμό ισχύος τους. Εάν αυτή η έξαρση της ισχύος θα προκαλέσει ή όχι υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπτής θερμοκρασίας της επαφής εξαρτάται από το μέγεθος και τη διάρκεια της και από τις θερμικές ιδιότητες του στοιχείου. Εάν η διάρκεια της έξαρσης της ισχύος δεν είναι μεγάλη υπάρχει περίπτωση η απόκλιση της θερμοκρασίας να μην είναι υπερβολική.

Στη μεταβατική κατάσταση πρέπει να εξετάζεται μαζί με τη θερμική αντίσταση και η θερμική χωρητικότητα  $C_s$  του στοιχείου. Η θερμική χωρητικότητα ανά μονάδα όγκου ενός υλικού είναι η ταχύτητα μεταβολής της πυκνότητας της θερμικής ενέργειας  $Q$  ως προς τη θερμοκρασία του υλικού  $T$ .

Έτσι, προκύπτει ο τύπος  $dQ/dT = C_v$  όπου  $C_v$  είναι θερμική χωρητικότητα ανά μονάδα όγκου και έχει διαστάσεις joules ανά μονάδα όγκου και ανά βαθμό Kelvin. Για ένα ορθογώνιο τεμάχιο υλικού διατομής  $A$  και πάχους  $d$  (κατά τη διεύθυνση της ροής της θερμότητας), η θερμική χωρητικότητα του τεμαχίου, δίδεται από τη σχέση:

$$C_s = C_v A d$$

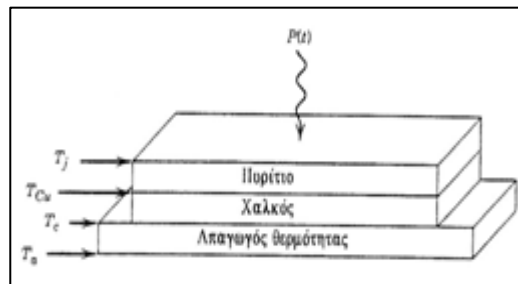
Η μεταβατική συμπεριφορά της θερμοκρασίας της επαφής διέπεται από την εξίσωση διάχυσης της θερμότητας, η οποία εξαρτάται από το χρόνο. Εάν η ισχύς εισόδου  $P(t)$ , είναι μια βηματική συνάρτηση, τότε η άνοδος της θερμοκρασίας,  $T_j(t)$ , για μικρά χρονικά διαστήματα δίδεται από τη σχέση:

$$T_j(t) = P_o [4t / (\pi R_\theta C_s)]^{1/2} + T_a$$

όπου  $P_o$  είναι το πλάτος του βήματος και με την προϋπόθεση ότι ο χρόνος  $t$  είναι μικρότερος από τη θερμική σταθερά χρόνου  $\tau_\theta = \pi R_\theta C_s / 4$ .

### Σχήμα

#### Θερμική δομή πολλών στρωμάτων



Πηγή: Αντωνίου, 1996

Σε πραγματικές διατάξεις, όπου η θερμότητα πρέπει να ρέει μέσα από πολλά διαφορετικά στρώματα, το ισοδύναμο κύκλωμα είναι περισσότερο σύνθετο. Εάν διαφέρουν κατά πολύ οι θερμικές σταθερές χρόνου των διαφόρων στρωμάτων, τότε η ολική σύνθετη θερμική αντίσταση θα είναι το άθροισμα των επί μέρους συνεισφορών των διαφόρων στρωμάτων. Η κατά προσέγγιση θερμοκρασία της επαφής, που προκύπτει εξαιτίας αυτού του ορθογώνιου παλμού είναι:

$$T_j(t) = P_o [Z_\theta(t - T/8) - Z_\theta(t - 3T/8)] + T_a$$

Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι, για να αυξηθεί η ικανότητα σε μεταβατική ισχύ ενός στοιχείου, θα πρέπει να αυξηθεί η θερμική σταθερά χρόνου  $R_\theta C_s$ . Δυστυχώς, αυτή η αντιμετώπιση δεν είναι εφαρμόσιμη, επειδή η σταθερά χρόνου δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{\pi}{4} R_\theta C_s = C_v \lambda^{-1} d^2 \frac{\pi}{4}$$

Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία των στοιχείων έχουν την ίδια περίπου θερμική χωρητικότητα  $C_v$ . Ακόμη, πρέπει να είναι μεγάλη η θερμική αγωγιμότητα, ώστε να είναι μικρή η θερμική αντίσταση. Τέλος, το μήκος της διαδρομής της ροής θερμοκρασίας  $d$  πρέπει να είναι μικρό για να ελαχιστοποιείται η  $R_\theta$ . Η συναλλαγή ανάμεσα στη μικρή αντίσταση  $R_\theta$  και τη μεγάλη θερμική σταθερά χρόνου πρέπει πάντοτε να επιτυγχάνεται με προτίμηση στις μικρές τιμές της  $R_\theta$ . Αυτό απαιτείται, επειδή το στοιχείο λειτουργεί συνήθως στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας και λιγότερο κάτω από μεταβατικές συνθήκες υπερφόρτισης.

Παρά το γεγονός ότι δεν μπορούν να τροποποιηθούν σε ουσιαστικό βαθμό τα όρια της μεταβατικής υπερφόρτωσης, τα περισσότερα στοιχεία ισχύος έχουν δυνατότητες υπερφόρτωσης, που υπερβαίνουν κατά πολύ τους περιορισμούς μέσης ισχύος κατά μια τάξη μεγέθους ή και περισσότερο. Στην πραγματικότητα εκείνο που έχει σημασία δεν είναι η στιγμιαία ισχύς, αλλά η συνολική ποσότητα ενέργειας που δαπανάται μέσα στο στοιχείο κατά τη διάρκεια του μεταβατικού φαινομένου. Οι περιορισμοί υπερφόρτωσης περιλαμβάνουν όχι μόνο έναν περιορισμό στιγμιαίας ισχύος, αλλά και τη διάρκεια της.

Είναι κοινή ευθύνη του κατασκευαστή και του χρήστη η διατήρηση της θερμοκρασίας της επαφής μέσα σε λογικά όρια. Ο κατασκευαστής ελαχιστοποιεί τη θερμική αντίσταση  $R_{\theta jc}$  μεταξύ του εσωτερικού του στοιχείου, όπου καταναλώνεται η ισχύς, και της εξωτερικής επιφάνειας της θήκης η οποία περικλείει το στοιχείο. Ο χρήστης της διάταξης πρέπει να εξασφαλίζει μια διαδρομή της θερμότητας μεταξύ του περιβλήματος (θήκης) και του περιβάλλοντος (όπου τελικά δαπανάται η θερμότητα που παράγεται μέσα στο στοιχείο), ώστε η αντίστοιχη θερμική αντίσταση  $R_{\theta ca}$  να ελαχιστοποιείται με το λιγότερο δυνατό κόστος.

Ο χρήστης έχει στη διάθεση του μια μεγάλη ποικιλία απαγωγών θερμότητας. Οι απαγωγείς θερμότητας είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο σε διάφορα σχήματα και χρησιμοποιούνται για την ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων. Με την προσθήκη ανεμιστήρα ή ψήκτρας, η θερμική αντίσταση ελαττώνεται και ο επαγωγός θερμότητας μπορεί να γίνει μικρότερος και ελαφρύτερος, πράγμα που ελαττώνει και τη θερμική χωρητικότητα  $C_s$ . Η θερμική σταθερά χρόνου των απαγωγών θερμότητας με εξαναγκασμένη ψύξη είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των απαγωγών που ψύχονται με φυσική μεταφορά. Οι αποστάσεις μεταξύ των ψυκτικών πτερυγίων στους επαγωγούς θερμότητας που χρησιμοποιούν εξαναγκασμένη ψύξη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από λίγα χιλιοστά<sup>63</sup>.

<sup>63</sup> Αντωνίου Α. (1996), «Ηλεκτρονικά», Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα

---

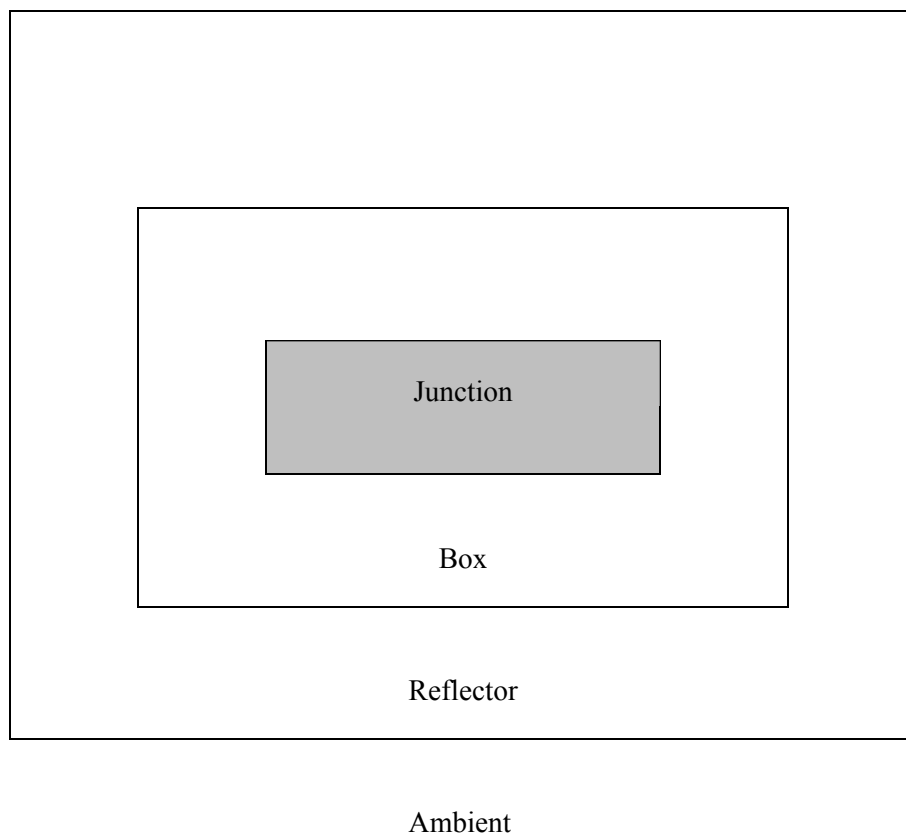
**Θερμική ανάλυση της λειτουργίας μιας ηλεκτρονικής διάταξης**

---

Μια απλή ηλεκτρονική διάταξη σε λειτουργία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Ένα ποσοστό της μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία αν δεν μεταφερθεί στο περιβάλλον από την διάταξη συσσωρεύεται με άμεση συνέπεια τη αύξηση της θερμοκρασίας.

Κάθε διάταξη λόγω της δομής του ημιαγωγού πάνω στον οποίο είναι κατασκευασμένη έχει κάποιο θερμοκρασιακό όριο λειτουργίας το οποίο θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να μην ξεπεραστεί. Για να γίνει το παραπάνω εφικτό θα πρέπει να βρεθούν διάφοροι μηχανισμοί απαγωγής της θερμότητας ή απλά ψύξη της διάταξης.

Για να υλοποιηθούν τα παραπάνω, αρχικά θα αναλυθεί θερμικά μια διάταξη με ψήκτρα σε κατάσταση λειτουργίας. Θεωρείται μια δίοδος ισχύος η οποία καταναλώνει μια συγκεκριμένη ισχύ  $P$ . Θεωρείται επίσης ότι η δίοδος βρίσκεται σε μια συσκευασία την οποία ονομάζεται box, και η παραπάνω συσκευασία έχει τοποθετηθεί πάνω σε μια ψήκτρα. Το σχήμα σε γενικές γραμμές για την ανάλυση του προβλήματος θα είναι σχηματικά όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Στο κέντρο του διαγράμματος είναι η διόδος (junction). Η διόδος περιβάλλεται από το κουτί συσκευασίας (box), στην συνέχεια η συσκευασία περιβάλλεται από την ψήκτρα και το όλο σύνολο βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον.

Η διόδος καταναλώνει ισχύ και θερμαίνεται. Το όλο σύστημα παραπάνω ανεβάζει θερμοκρασία. Σε άμεση επαφή με το περιβάλλον γίνονται θερμικές μεταφορές ώσπου κάποια στιγμή επέρχεται θερμική ισορροπία στο όλο σύστημα. Η παραγόμενη δηλαδή θερμότητα με διάφορους μηχανισμούς απάγεται από το σύστημα και αποδίδεται στο περιβάλλον. Η θερμική ισχύς που αποδίδεται στο περιβάλλον όταν έρθει η ισορροπία είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνεται από την διάταξη. Οι μεταφορές της θερμότητας στη γενική περίπτωση γίνεται με τους παρακάτω τρεις διαφορετικούς τρόπους<sup>64</sup>:

- 1) Ακτινοβολία
- 2) Αγωγιμότητα
- 3) Απαγωγή

Θεωρείται αποδεκτό ότι η θερμική ισχύς μεταφέρεται από μια θερμή περιοχή με θερμοκρασία  $T_{\theta}$  σε μια κρύα περιοχή με θερμοκρασία  $T_{\kappa}$  και είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας μέσω ενός συντελεστή.

$$T_{\theta} - T_{\kappa} = R_{\theta} \cdot P_c$$

Όπου  $P_c$  είναι η παραγόμενη θερμική ισχύς σε W. Η παραπάνω σχέση γράφεται

$$\Delta T = R_e \cdot P_c$$

Η παραπάνω σχέση είναι ανάλογη με την σχέση που ισχύει σε ηλεκτρικά κυκλώματα

$$\Delta V = R \cdot I$$

ότι δηλαδή η θερμοκρασία είναι ανάλογη με το δυναμικό, η θερμική αντίσταση κάτι ανάλογο με την ωμική και τέλος η θερμική ισχύς ανάλογη με το ρεύμα. Προκύπτει ότι για μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές  $\Delta T$  θα πρέπει να υπάρχουν μικρές θερμικές αντιστάσεις.

Αν υποθεθεί ότι στην ισορροπία η θερμοκρασία της διόδου είναι  $T_J$ , η θερμοκρασία της συσκευασίας της διόδου είναι  $T_B$  η θερμοκρασία της ψήκτρας είναι  $T_R$  και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος  $T_A$ . Σε κατάσταση ισορροπίας η ισχύς μεταφέρεται από τη διάταξη στο κουτί της συσκευασίας, σύμφωνα με την σχέση:

$$T_J - T_B = R_{\theta|J-B} \cdot P_c$$

<sup>64</sup> Κορνήλιος Ν. (2008), «Ηλεκτρονικά II», Σημειώσεις μαθήματος, Ηράκλειο



από το κουτί συσκευασίας στην ψήκτρα:

$$T_B - T_R = R_{\Theta|B-R} \cdot P_C$$

και από την ψήκτρα στον περιβάλλοντα χώρο:

$$T_R - T_A = R_{\Theta|R-A} \cdot P_C$$

Αν προστεθούν κατά μέλη τις παραπάνω τρεις σχέσεις:

$$T_J - T_B + T_B - T_R + T_R - T_A = (R_{\Theta|J-B} + R_{\Theta|B-R} + R_{\Theta|R-A}) \cdot P_C \text{ και τελικά}$$

$$T_J - T_A = (R_{\Theta|J-B} + R_{\Theta|B-R} + R_{\Theta|R-A}) \cdot P_C \text{ και τελικά}$$

$$T_J - T_A = R_{\Theta|J-A} \cdot P_C \text{ όπου } R_{\Theta|J-B} + R_{\Theta|B-R} + R_{\Theta|R-A} = R_{\Theta|J-A}$$

Το ζητούμενο είναι να έχουν μικρή τιμή οι θερμικές αντιστάσεις του συστήματος διάταξης – κουτί - ψήκτρα. Αυτό είναι εφικτό να γίνει όταν χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες ψήκτρες και διάφορες σιλικόνες με πολύ μικρές θερμικές αντιστάσεις για απόλυτη επαφή μεταξύ διάταξης και ψήκτρας.

---

### Θερμική αντίσταση τρανζίστορ με τη χρήση ψήκτρας

---

Η μέγιστη ισχύς  $P_{Cmax}$ , που μπορεί να καταναλώσει το τρανζίστορ εξαρτάται από την κατασκευή του και παίρνει τιμές από λίγα mW μέχρι 200W. Στο τρανζίστορ ιδιαίτερη σημασία έχει όχι μόνο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος  $T_a$ , αλλά και η θερμοκρασία που γεννιέται στο εσωτερικό του εξαιτίας της ισχύος  $P_C = I_C V_{CE}$ , την οποία καταναλώνει. Έχει παρατηρηθεί, ότι όσο περισσότερο φορτώνεται το τρανζίστορ, όσο δηλαδή μεγαλύτερη ισχύ  $P_C$  παρέχει, τόσο περισσότερο θερμαίνεται.

Επίσης, η θερμοκρασία λειτουργίας του τρανζίστορ επηρεάζεται και από τη θερμοχωρητικότητά του. Επειδή η θερμοχωρητικότητα ενός τρανζίστορ είναι μικρή, εξαιτίας του μικρού του μεγέθους, η θερμοκρασία του θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος. Το όριο αυτό για τα τρανζίστορ από γερμάνιο κυμαίνεται από 60°-100°C και για τα από πυρίτιο από 150° -225°C. Όταν ξεπεραστούν τα όρια αυτά, το τρανζίστορ εξαιτίας της υπερθέρμανσης, καταστρέφεται.

Η απαγωγή της θερμότητας από το τρανζίστορ γίνεται είτε με μεταφορά, είτε με αγωγή, είτε με ακτινοβολία. Στην πρώτη περίπτωση το αέρινο στρώμα που περιβάλλει το τρανζίστορ θερμαίνεται, οπότε ένα ψυχρότερο στρώμα έρχεται να το αντικαταστήσει κι έτσι μ' αυτό το μηχανισμό αφαιρείται διαρκώς θερμότητα από το περιβάλλον.

Οι θερμικές αντιστάσεις είναι κατασκευαστικές σταθερές των τρανζίστορ και δίνονται συνήθως από τους κατασκευαστές. Οι κατασκευαστές δίνουν για κάθε τρανζίστορ τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ για λειτουργία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C. Η παρουσία ψήκτρας σε τρανζίστορ διατηρεί τη θερμοκρασία της ένωσης συλλέκτη -βάσης σε ασφαλή για τη λειτουργία της όρια<sup>65</sup>.

---

### *Παραδείγματα*

---

**A.** Δίνεται τρανζίστορ ισχύος με τα στοιχεία  $P_{Cmax} = 10W$ ,  $T_{Jmax}=125^{\circ}C$ ,  $T_{CO}=25^{\circ}C$  και  $T_c$  (θήκης)  $=800^{\circ}C$ . Να υπολογιστεί η θερμική αντίσταση της ψήκτρας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να λειτουργήσει το τρανζίστορ με ισχύ 7W σε περιβάλλον θερμοκρασίας  $T_a=80^{\circ}C$  ακίνδυνα.

### Λύση

#### I. Χωρίς ψήκτρα

$$\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$$

Η  $\theta_{ja}$  βρίσκεται από τη σχέση

$$\theta_{ja} = (T_{Jmax} - T_{CO}) / P_{Cmax} = (125 - 25) / 10 = 10^{\circ}C/W$$

$$\theta_{ca} = (T_c - T_{CO}) / P_{Cmax} = (80 - 25) / 10 = 5,5^{\circ}C/W$$

άρα η  $\theta_{jc}$  από την αρχική σχέση είναι

$$\theta_{jc} = \theta_{ja} - \theta_{ca} = 10 - 5,5 = 4,5^{\circ}C/W$$

---

<sup>65</sup> Αντωνίου Α. (1996), «Ηλεκτρονικά», Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα

**II. Με ψήκτρα**

$$T_{Jmax} - T_A = (\theta_{jc} + \theta_{sa} + \theta_{cs}) \cdot P_C$$

Θεωρώντας ότι η  $\theta_{cs} = 0$  προκύπτει

$$T_{Jmax} - T_A = (\theta_{jc} + \theta_{sa}) \cdot P_C \text{ και άρα}$$

$$125 - 80 = (4,5 + \theta_{sa}) \cdot 7 \text{ ή}$$

$$\theta_{sa} = 13,5 / 7 = 1,928 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- B.** Για το τρανζίστορ 2N3903 ο κατασκευαστής δίνει  $R_{\theta|J-B|} = 83,3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  και  $R_{\theta|J-A|} = 200 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  και  $R_{\theta|B-A|} = 116,7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ . Αν χρησιμοποιηθεί ψήκτρα σε συνδυασμό με σιλικόνη μπορεί να μειωθεί η θερμική αντίσταση για παράδειγμα μέχρι  $R_{\theta|J-A|} = 20 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ .

**Λύση**

Για το τρανζίστορ 2N3903 ο κατασκευαστής δίνει  $R_{\theta|J-B|} = 83,3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας  $T_{Jmax} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Αν το τρανζίστορ λειτουργεί στο σημείο  $V_{CE} = 30 \text{ V}$  και  $I_C = 0,15 \text{ A}$  η παραγόμενη θερμική ισχύς θα είναι  $4,5 \text{ W}$ . Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $23 \text{ } ^\circ\text{C}$  η θερμική αντίσταση θα είναι ίση με:

$$R_{\theta|J-A|} = (T_{Jmax} - T_A) / P_c = (150 - 23) / 4.5 = 28,22 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Γνωρίζοντας από τον κατασκευαστή ότι η θερμική αντίσταση  $R_{\theta|B-R|} = 3,3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  χωρίς σιλικόνη και με σιλικόνη  $R_{\theta|B-R|} = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ , μπορεί κανείς μέσω διαγραμμάτων που παρέχονται στις περισσότερες διατάξεις ισχύος να βρει τις απαιτούμενες διαστάσεις της ψήκτρας.

- Γ. Για το τρανζίστορ 2N3507A ο κατασκευαστής δίνει  $R_{\Theta|J - A|} = 175 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . Αν χρησιμοποιηθεί ψήκτρα σε συνδυασμό με σιλικόνη μπορεί να μειωθεί η θερμική αντίσταση για παράδειγμα μέχρι  $R_{\Theta|J - A|} = 2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ .

### Λύση

Για το τρανζίστορ 2N3507A ο κατασκευαστής δίνει μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας  $T_{J\max} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Αν το τρανζίστορ λειτουργεί στο σημείο  $V_{CE} = 25 \text{ V}$  και  $I_C = 2 \text{ A}$  η παραγόμενη θερμική ισχύς θα είναι  $50 \text{ W}$ . Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  η θερμική αντίσταση θα είναι ίση με:

$$R_{\Theta|J - A|} = (T_{J\max} - T_A) / P_c = (200 - 20) / 50 = 3,6 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Γνωρίζοντας από τον κατασκευαστή ότι η θερμική αντίσταση  $R_{\Theta|B - R|} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$  χωρίς σιλικόνη και με σιλικόνη  $R_{\Theta|B - R|} = 0,2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , μπορεί κανείς μέσω διαγραμμάτων που παρέχονται στις περισσότερες διατάξεις ισχύος να βρει τις απαιτούμενες διαστάσεις της ψήκτρας.



## 2N3507A

Silicon NPN Transistor

Data Sheet

### Description

SEMICOA offers:

- Screening and processing per MIL-PRF-19500 Appendix E
- JAN level (2N3507AJ)
- JANTX level (2N3507AJX)
- JANTXV level (2N3507AJV)
- JANS level (2N3507AJS)
- QCI to the applicable level
- 100% die visual inspection per MIL-STD-750 method 2072 for JANTXV and JANS
- Radiation testing (total dose) upon request

Please contact SEMICOA for special configurations  
www.SEMICOA.com or (714) 979-1900

### Applications

- General purpose switching transistor
- Low power
- NPN silicon transistor



### Features

- Hermetically sealed TO-39 metal can
- Also available in chip configuration
- Chip geometry 1506
- Reference document: MIL-PRF-19500/349

### Benefits

- Qualification Levels: JAN, JANTX, JANTXV and JANS
- Radiation testing available

Absolute Maximum Ratings		T <sub>C</sub> = 25°C unless otherwise specified	
Parameter	Symbol	Rating	Unit
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	Volts
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	80	Volts
Emitter-Base Voltage	V <sub>EB0</sub>	5	Volts
Collector Current, Continuous	I <sub>C</sub>	3	A
Power Dissipation, T <sub>A</sub> = 25°C Derate linearly above 25°C	P <sub>T</sub>	1 5.71	W mW/°C
Power Dissipation, T <sub>C</sub> = 25°C Derate linearly above 25°C	P <sub>T</sub>	5 28.6	W mW/°C
Thermal Resistance	R <sub>ΘJA</sub>	175	°C/W
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	-65 to +200	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>		

**SEMICOA****2N3507A**  
Silicon NPN Transistor

Data Sheet

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**characteristics specified at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 

<b>Off Characteristics</b>						
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Collector-Base Breakdown Voltage	$V_{BR(CB)}$	$I_C = 100 \mu\text{A}$	80			Volts
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{BR(CE)}$	$I_C = 10 \text{ mA}$	50			Volts
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{BR(EB)}$	$I_E = 10 \mu\text{A}$	5			Volts
Collector-Emitter Cutoff Current	$I_{CEX}$	$V_{CE} = 60 \text{ Volts}, V_{BE} = 4 \text{ Volts}$			1	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Cutoff Current	$I_{CEX}$	$V_{CE} = 60 \text{ Volts}, V_{BE} = 4 \text{ Volts}, T_A = 150^\circ\text{C}$			1.5	mA
<b>On Characteristics</b>						
Pulse Test: Pulse Width = 300 $\mu\text{s}$ , Duty Cycle $\leq 2.0\%$						
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
DC Current Gain	$h_{FE1}$	$I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 1 \text{ Volts}$	35		175	
	$h_{FE2}$	$I_C = 1.5 \text{ A}, V_{CE} = 2 \text{ Volts}$	30		150	
	$h_{FE3}$	$I_C = 2.5 \text{ A}, V_{CE} = 3 \text{ Volts}$	25			
	$h_{FE4}$	$I_C = 3.0 \text{ A}, V_{CE} = 5 \text{ Volts}$	20			
	$h_{FE5}$	$I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ Volts}, T_A = -55^\circ\text{C}$	17			
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 500 \text{ mA}, I_B = 50 \text{ mA}$			1.0	Volts
	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_B = 150 \text{ mA}$	0.8		1.3	
	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 2.5 \text{ A}, I_B = 250 \text{ mA}$			2.0	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 500 \text{ mA}, I_B = 50 \text{ mA}$			0.5	Volts
	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_B = 150 \text{ mA}$			1.0	
	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 2.5 \text{ A}, I_B = 250 \text{ mA}$			1.5	
<b>Dynamic Characteristics</b>						
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Magnitude – Common Emitter, Short Circuit Forward Current Transfer Ratio	$ h_{FE} $	$V_{CE} = 5 \text{ Volts}, I_C = 100 \text{ mA}, f = 20 \text{ MHz}$	3		15	
Open Circuit Output Capacitance	$C_{OB}$	$V_{CE} = 10 \text{ Volts}, I_B = 0 \text{ mA}, 100 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$			40	pF
Open Circuit Input Capacitance	$C_{IB}$	$V_{BE} = 3 \text{ Volts}, I_C = 0 \text{ mA}, 100 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$			300	pF
Delay Time	$t_d$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_{B1} = 150 \text{ mA}$			15	ns
Rise Time	$t_r$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_{B1} = 150 \text{ mA}$			30	ns
<b>Switching Characteristics</b>						
Storage Time	$t_s$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_{B1} = I_{B2} = 150 \text{ mA}$			55	ns
Fall Time	$t_f$	$I_C = 1.5 \text{ A}, I_{B1} = I_{B2} = 150 \text{ mA}$			35	ns

## 2N3903, 2N3904

2N3903 is a Preferred Device

### General Purpose Transistors

NPN Silicon

#### Features

- Pb-Free Packages are Available\*

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	40	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB0}$	60	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB0}$	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	$I_C$	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	°C

#### THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	85.5	°C/W

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.  
1. Indicates Date in addition to JEDEC Requirements.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

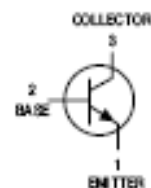
© Semiconductor Components Industries, LLC, 2007  
March, 2007 - Rev. 6

1



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



#### MARKING DIAGRAMS



x = 3 or 4  
A = Assembly Location  
L = Wafer Lot  
Y = Year  
W = Work Week  
\* = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

Publication Order Number:  
2N3903/D

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Breakdown Voltage (Note 2) ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	40	-	Vdc	
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10\mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	80	-	Vdc	
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10\mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.0	-	Vdc	
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{BL}$	-	50	nAdc	
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{CCE}$	-	50	nAdc	
<b>ON CHARACTERISTICS</b>					
DC Current Gain (Note 2) ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	2N3903	20	-	-
( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3904	40	-	-
( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3903	35	-	-
( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3904	70	-	-
( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3903	50	150	-
( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3904	100	300	-
( $I_C = 100\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3903	30	-	-
( $I_C = 100\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )		2N3904	60	-	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	-	0.2 0.3	Vdc	
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 2) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0\text{ mAdc}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.65 -	0.85 0.95	Vdc	
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
Current-Gain - Bandwidth Product ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )	$f_T$	2N3903	250	-	MHz
		2N3904	300	-	
Output Capacitance ( $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{obe}$	-	4.0	pF	
Input Capacitance ( $V_{BE} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ibo}$	-	8.0	pF	
Input Impedance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{ie}$	2N3903	1.0	8.0	k $\Omega$
		2N3904	1.0	10	
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	2N3903	0.1	5.0	$\times 10^{-4}$
		2N3904	0.5	8.0	
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{\beta}$	2N3903	50	200	-
		2N3904	100	400	
Output Admittance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{oe}$	1.0	40	$\mu\text{mhos}$	
Noise Figure ( $I_C = 100\mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$ , $R_G = 1.0\text{ k}\Omega$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	NF	2N3903	-	6.0	dB
		2N3904	-	5.0	
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
Delay Time	$(V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = 1.0\text{ mAdc}$ )	$t_d$	-	35	ns
Rise Time		$t_r$	-	35	ns
Storage Time	$(V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mAdc}$ )	2N3903	-	175	ns
		2N3904	-	200	
Fall Time	$t_f$	-	50	ns	

2. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\mu\text{s}$ ; Duty Cycle  $\leq 2\%$ .

## 2N3903, 2N3904

## ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
2N3903RLRM	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904	TO-92	5000 Units / Bulk
2N3904G	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units / Bulk
2N3904RLRA	TO-92	2000 / Tape & Reel
2N3904RLRAG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3904RLRM	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRMG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRP	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRPG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack
2N3904RL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3904ZL1	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904ZL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.



## Συμπεράσματα

---

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν οι ηλεκτρονικές διατάξεις και τα προβλήματα που παρουσιάζονται σ' αυτές εξ' αιτίας της υπερθέρμανσης. Επίσης, αναλύθηκαν οι βασικότεροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο. Από την ανάλυση των στοιχείων που παρατέθηκαν, εξάγονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα.

Κατ' αρχήν, οι διατάξεις όπως τα τρανζίστορ, οι πυκνωτές, οι αντιστάσεις και γενικά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αποτέλεσαν και θα αποτελούν τη βάση στην οποία στηρίζεται ολόκληρη η σύγχρονη τεχνολογία. Η πρόοδος της τεχνολογίας επιτυγχάνεται έχοντας ως βασικό της στοιχείο τις ηλεκτρονικές διατάξεις. Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών διατάξεων συνεχίζεται διαρκώς έχοντας ως γνώμονα την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή τους με τα μικρότερα δυνατά προβλήματα.

Ωστόσο, οι σύγχρονες απαιτήσεις και η τεχνολογική εξέλιξη, διόγκωσε ένα πρόβλημα που τα προηγούμενα χρόνια δεν απασχολούσε ιδιαίτερα τους κατασκευαστές των ηλεκτρονικών διατάξεων. Το πρόβλημα αυτό δεν είναι άλλο από την υπερθέρμανση. Οι διατάξεις και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα εκλύουν ποσά θερμότητας από την στιγμή που τα διαπερνά ηλεκτρικό ρεύμα. Η υπερθέρμανση εμφανίζεται λόγω της χρήσης μια ηλεκτρονικής διάταξης πέραν των ορίων αντοχής της και της υψηλότερης διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος. Οι συνέπειές της μπορεί να είναι από μια διακοπή στη λειτουργία έως μια καταστροφή της ηλεκτρονικής διάταξης. Επομένως, η υπερθέρμανση είναι ένα πρόβλημα ύψιστης σημασίας για τις ηλεκτρονικές διατάξεις, που λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν.

Η αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης, επιτυγχάνεται με κάποιες βασικές τεχνικές και μέσα που βασίζονται στη ροή του αέρα, του νερού ή κάποιων άλλων αερίων, όπως παρουσιάστηκαν σε ξεχωριστό κεφάλαιο. Μετά την αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων τρόπων ψύξης των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των ηλεκτρονικών διατάξεων, συμπεραίνει κανείς πως αυτά έχουν μεγάλη σημασία όχι μόνο στη σωστή λειτουργία τους αλλά και στην αποτροπή εμφάνισης υπερθέρμανσης. Η καλύτερη ψύξη των ολοκληρωμένων και των διατάξεων, οδηγεί στην πιο σταθερή λειτουργία τους, στην παράταση του κύκλου ζωής τους και στην ικανότητα να αυξάνουν την συχνότητα λειτουργίας τους. Μάλιστα, πολλές φορές η

βελτίωση της ψύξης, πέρα από την μείωση της θερμοκρασίας, μπορεί να επιφέρει και ελαχιστοποίηση της παραγόμενης θερμότητας.

Ολοκληρώνοντας, κατανοεί κανείς ότι όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, τόσο η ανάγκη για καλύτερη ψύξη των ηλεκτρονικών διατάξεων γίνεται πιο επιτακτική. Οι τεχνολογικές απαιτήσεις που τείνουν διαρκώς να αυξάνονται και η ανάγκη για μεγαλύτερη ταχύτητα των ολοκληρωμένων συστημάτων θα αυξάνουν διαρκώς τα ποσά της παραγόμενης και εκλυόμενης θερμότητας, με αρνητικές πολλές φορές επιπτώσεις. Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των ηλεκτρονικών διατάξεων απασχόλησε και θα απασχολεί στο μέλλον. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής ψύξης είναι πάντοτε εκείνη που περιορίζει το φαινόμενο έως ότου κατορθώσει να το εξαλείψει πλήρως.

---

## Βιβλιογραφία

---

---

### Ελληνική

---

- ✚ Γκανέτσος Θ. (2005), «Ηλεκτρονικά ισχύος», Σημειώσεις μαθήματος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λαμίας, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Λαμία
- ✚ Καραγιάννης Α. (2000), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- ✚ Πακτίτη Σ., Σαλέμη Π. (1988), «Γενικά ηλεκτρονικά», 5η Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ✚ Πάλλας Α. (1993), «Εφαρμοσμένα ηλεκτρονικά», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ✚ Παπακωνσταντίνου Χ. (1996), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και στοιχεία ηλεκτρονικού σχεδίου», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ✚ Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος Ι, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ✚ Πατέστος Γ. (1996), «Ηλεκτρονικές διατάξεις και μέθοδοι ανίχνευσης βλαβών», Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ✚ Ρήγας Δ. (1999), «Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- ✚ Σελλούντος Β. (2002), «Θέρμανση – Κλιματισμός», Τόμος Α΄, Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ Εκδοτική, Αθήνα
- ✚ Χαλικιάς Σ. (1988), «Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός», Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β.
- ✚ Χατζόπουλος Α., Ιωακειμίδης Ε., Θειόκα Φ.(1994), «Ηλεκτρονικά εξαρτήματα: Θεωρία και ασκήσεις», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

---

**Ξενογλώσση**

---


- ✚ Bishop O. (2007), «Electronic circuits and systems», 3rd Edition, Newnes
  
- ✚ Bogart T. (2000), «Electronic devices and circuits», International Edition, Prentice Hall
  
- ✚ Ghausi M. (1985), «Electronic devices and circuits: Discrete and integrated», Holt, New York
  
- ✚ Kaufman - Seidman A. (1992), «Εγχειρίδιο ηλεκτρονικής», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
  
- ✚ Millman J. (1972), «Integrated electronics», McGraw – Hill International Editions, Electrical and Electronic engineering series, London
  
- ✚ Morris J. (1996), «Applied electronics», Butterworth – Heinemann
  
- ✚ Schilling D. (1989), «Electronic circuit», 2nd Edition, McGraw – Hill International Editions, Electrical and Electronic engineering series


---

**Διαδίκτυο**

---

- ✚ CoolerMaster (2009), Επίσημος διαδικτυακός ιστότοπος <http://www.coolermaster.com>
  
- ✚ Electronic Circuits (2008), «Μετασχηματιστές», περιοδικό Electronic Circuits, τεύχος 1, διαθέσιμο [http://www.electroniccircuits.gr / metaximatistes.html](http://www.electroniccircuits.gr/metaximatistes.html), Αθήνα

 Thermalright (2009), Επίσημος διαδικτυακός ιστότοπος  
<http://www.thermalright.com>

 Xigmatek (2009), Επίσημος διαδικτυακός ιστότοπος  
<http://www.xigmatek.com>

---

## Παράρτημα

---



---

### Κατάλογος Σχημάτων -Εικόνων

---

Σχήμα 1. Ανάλογο λειτουργίας ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου με τρανζίστορ.....	53
Σχήμα 2. Συνθήκες αγωγιμότητας για το θυρίστορ.....	54
Εικόνα 1. Πυκνωτής .....	11
Εικόνα 2. Κεραμικοί πυκνωτές.....	17
Εικόνα 3. Πυκνωτές τρίμερ .....	18
Εικόνα 4. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου.....	21
Εικόνα 5. Δίοδοι ακίδας.....	23
Εικόνα 6. Δίοδοι Zener .....	25
Εικόνα 7. Δίοδοι LED.....	26
Εικόνα 8. Τρανζίστορ .....	29
Εικόνα 9. Τρανζίστορ υψηλών συχνοτήτων χαμηλής ισχύος.....	32
Εικόνα 10. Ολοκληρωμένο κύκλωμα .....	34
Εικόνα 11. Μετασχηματιστές τροφοδοσίας για σασί και πλακέτα .....	40
Εικόνα 12. Τοροειδής μετασχηματιστές.....	42
Εικόνα 13. Μικροελεγκτής Basic Stamp .....	44
Εικόνα 14. Υπερθέρμανση σε πυκνωτές .....	56
Εικόνα 15. Ψήκτρα σε ηλεκτρονική διάταξη υπολογιστή.....	62
Εικόνα 16. Διαστρωμάτωση επαφής ψήκτρας – θερμοαγώγιμης πάστας - ολοκληρωμένου .....	63
Εικόνα 17. Τυπική ψήκτρα αλουμινίου .....	64
Εικόνα 18. Η ροή του αέρα σε μια ψήκτρα .....	64
Εικόνα 19. Η νέα γενιά ψηκτρών.....	65
Εικόνα 20. Η φιλοσοφία σχεδίασης - κατασκευής του phase-change.....	72
Εικόνα 21. Περιγραφή του κύκλου ψύξης.....	73