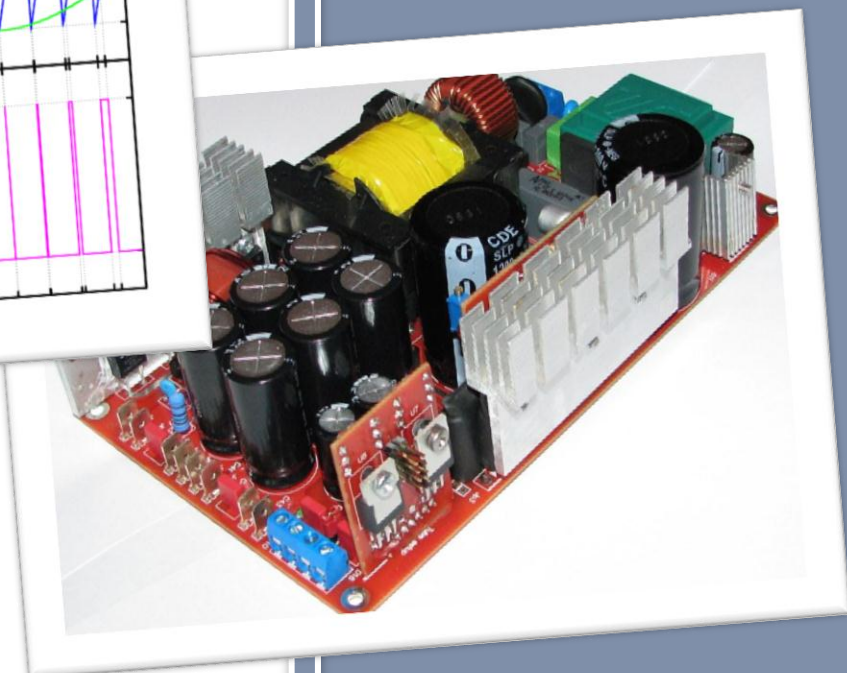
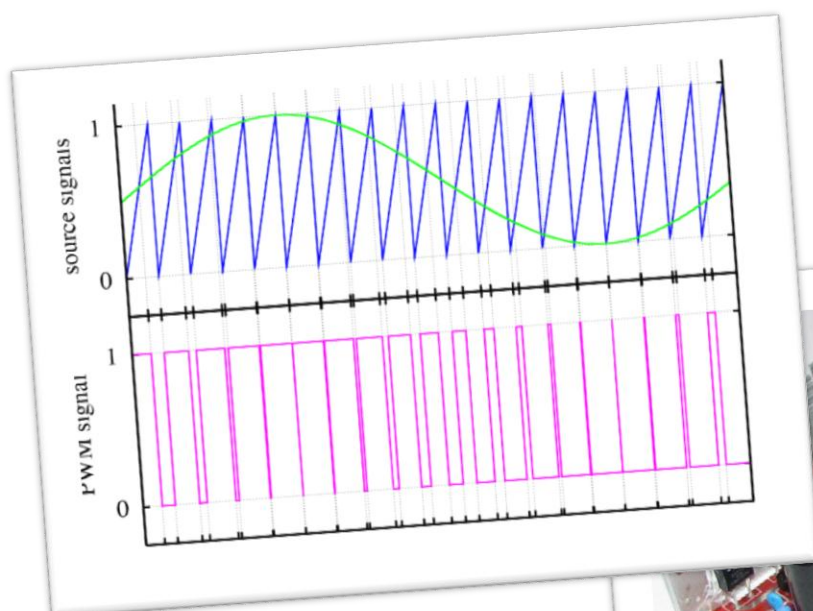


# P.W.M κ' SWITCHING ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ



Σεϊπιανίδης Δημοσθένης

A.E.N Μακεδονίας

28 Ιουνίου 2012

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : P.W.M κ' Switching Τεχνολογίες**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Σεϊπιανίδης Δημοσθένης**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Παπασταμούλης Αθανάσιος**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2012**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : P.W.M κ' Switching Τεχνολογίες**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Σεϊπιανίδης Δημοσθένης**

**ΑΜ : 4185**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : 28/06/2012**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

.....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα τις τεχνολογίες Switching & P.W.M. Περιλαμβάνει εισαγωγή στο ηλεκτρικό ρεύμα και στις τεχνολογίες Switching και P.W.M.

Η τεχνολογία P.W.M ή αλλιώς Pulse Width Modulation ανήκει στις τεχνολογίες αντιστροφών (inverters) οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μετατροπή ενός συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Η τεχνολογία P.W.M είναι μία συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για τον έλεγχο της ηλεκτρικής ισχύος κατά την οποία η μέση τιμή της τάσης ή της έντασης του ρεύματος που τροφοδοτεί ένα φορτίο ελέγχεται μέσω ηλεκτρονικών διακοπών μεταξύ της τροφοδοσίας και της κατανάλωσης ισχύος. Οι διακόπτες αυτοί ανοιγοκλείνοντας το κύκλωμα σε υψηλό ρυθμό παράγουν παλμούς δίνοντας μία μέση τιμή τάσης τόσο υψηλότερη όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του παλμού στην έξοδο.

Στο πρώτο μέρος της παρούσας πτυχιακής, μετά από μία σύντομη εισαγωγή όπου παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί και αρχές του ηλεκτρικού ρεύματος, παρουσιάζεται η τεχνολογία P.W.M και κάποιες εφαρμογές της όπως ο έλεγχος ισχύος σε ένα φορτίο (π.χ. έναν ηλεκτρικό κινητήρα), η μετάδοση δεδομένων στις τηλεπικοινωνίες και η ψηφιακή ενίσχυση.

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής παρουσιάζονται τα παλμοτροφοδοτικά και η τεχνολογία Switching τα οποία χρησιμοποιούνται για την πιο αποτελεσματική μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως σε διατάξεις μετατροπής υψηλής ισχύος. Παρουσιάζονται τεχνικές ελέγχου, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθώς και εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής.

## ABSTRACT

This dissertation is about Switching & P.W.M Technology. It includes an introduction to electricity and Switching & P.W.M technologies.

PWM technology is a commonly used technique for controlling the electrical power at which the mean value of voltage or amperage that supplies a load is controlled by electronic switches, between power and power dissipation. These switches, by blinking the circuits, generate pulses that give at output a mean value of voltage as high as the duration of the pulse at the output.

The first part of this project, after a brief introduction which presents basic definitions and principles of electricity, shows the P.W.M technology and some applications such as power control of a load (e.g. an electric motor), the data transmission of telecommunications and digital enhancement.

The second part presents the Switching technology, which is used for a more efficient conversion of electrical energy, mainly for high power conversion devices. This project also discusses the control techniques, the advantages and disadvantages as well the applications of this technology.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα τις τεχνολογίες Switching & P.W.M. Περιλαμβάνει μια εισαγωγή στο ηλεκτρικό ρεύμα και ακολουθούν οι τεχνολογίες Switching και P.W.M.

Ο λόγος για τον οποίο επέλεξα το θέμα αυτό, είναι επειδή οι τεχνολογίες αυτές έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών γενικότερα αλλά και στην ναυτιλία, από τον έλεγχο της τάσης έως την μετατροπή του ρεύματος. Γράφοντας την εργασία αυτή μου δόθηκε η ευκαιρία να μάθω κάποια βασικά πράγματα γύρω από το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς και κάποια ιδιαίτερα πράγματα περί του έλεγχου τάσεως αλλά και της μετατροπής του ρεύματος. Στην εργασία προσπαθώ να περιγράψω τα όποια σημαντικά στοιχεία με τον πιο απλό τρόπο. Τα στοιχεία που έχω χρησιμοποιήσει είναι από το διαδίκτυο, είτε από εγκυκλοπαίδειες είτε από άρθρα επαγγελματιών σχετικά με το θέμα.

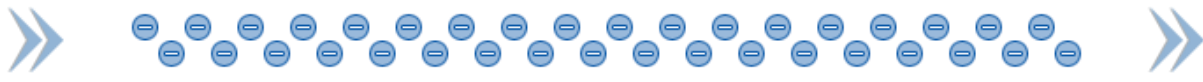
Στην εισαγωγή αναλύω τα είδη του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και τους τρόπους της μετατροπής τους.

Έπειτα στο 1ο κεφάλαιο περιγράφω την τεχνολογία P.W.M. αναλύοντας τους ελεγκτές (microchip), τον έλεγχο των κυκλωμάτων, τους τρόπους της διαμόρφωσης των παλμών και τις εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής.

Στη συνέχεια, στο 2ο κεφάλαιο, αναλύω την τεχνολογία Switching όπου αναφέρω το τεχνικό υπόβαθρο, τις χρήσεις και τις ιδιότητες, την δομή και την λειτουργία των παλμοτροφοδοτικών, τις τεχνικές ελέγχου, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι κοινών τροφοδοτικών και στο τέλος τις εφαρμογές γενικότερα.

Στο τέλος βρίσκεται ο επίλογος – συμπεράσματα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ



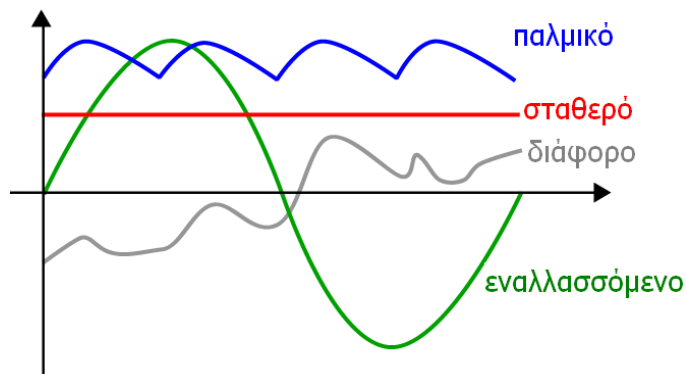
	Unit	"Water Analogy"	"Water Unit"
Voltage (V)	Volt	Pressure	lbs / in <sup>2</sup>
Current (I)	Ampere	Flow Rate	Gal / Second

**Εικόνα 0.0.1 – Παράδειγμα κατανόησης ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό σε σχέση με το νερό.**

Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων ή φορέων ηλεκτρικού φορτίου, κατά μήκος ενός ηλεκτροφόρου αγωγού. Ένα παρεμφερές φαινόμενο είναι το ρεύμα μετατόπισης, ποσότητα που σχετίζεται με την αλλαγή του ηλεκτρικού πεδίου. Μετριέται σε μονάδες μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και αντιστοιχεί σε αυτό ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

## 0.1 - Είδη Ηλεκτρικού Ρεύματος

Ανάλογα με την εξάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος με το χρόνο διακρίνουμε το ηλεκτρικό ρεύμα σε διάφορα είδη. Υπάρχουν δύο κύρια είδη ηλεκτρικού ρεύματος



Εικόνα 0.1.1 - Είδη ηλεκτρικού ρεύματος.

### 0.1.1 - Συνεχές Ρεύμα

Είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που έχει μία συγκεκριμένη φορά.

Συνήθως το συνεχές ρεύμα έχει σταθερό μέτρο έντασης, με το οποίο λειτουργούν πολλά κυκλώματα και είναι αυτό το οποίο παράγουν οι μπαταρίες. Αυτά τα κυκλώματα είναι μικρά ηλεκτρικά κυκλώματα ή ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επειδή έχει σταθερή ένταση, υποχρεωτικά παράγεται από σταθερή τάση, δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου.

### 0.1.2 - Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Είναι το ρεύμα στο οποίο εναλλάσσεται η φορά, δηλαδή η φορά αλλάζει περιοδικά με το χρόνο.

Συνήθως αυτή η μεταβολή είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου, οπότε έχει περίοδο και φάση, και με το οποίο λειτουργούν μεγάλα δίκτυα ηλεκτροδότησης. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μεταβλητή σε σχέση με το χρόνο και κατά (αριθμητικό) μέσο όρο είναι μηδέν. Όμως το μέτρο της έντασης είναι διάφορο του μηδενός και μπορεί να χαρακτηρίσει μονόμετρα το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό ονομάζεται ενεργός ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος. Δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά, η τάση μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο, για αυτό περιγράφεται από την ενεργό τάση.



## 0.2 - Μετατροπή Εναλλασσόμενου Ρεύματος Σε Συνεχές (Rectifier)



Για να πραγματοποιηθεί αυτή η μετατροπή, χρησιμοποιούμε τον Ανορθωτή-Διορθωτή (Rectifier)

Rectifier είναι μια ηλεκτρική συσκευή η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα (A.C) σε συνεχές (D.C). Η διαδικασία είναι γνωστή ως Rectification (Ανόρθωση).

Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές, κάποιες από αυτές είναι

- Vacuum tube diodes
- Mercury-vapor rectifier
- Solid-state diodes
- Silicon<sup>1</sup>-controlled rectifiers (Thyristor)
- Και άλλες silicon-based semiconductor switches



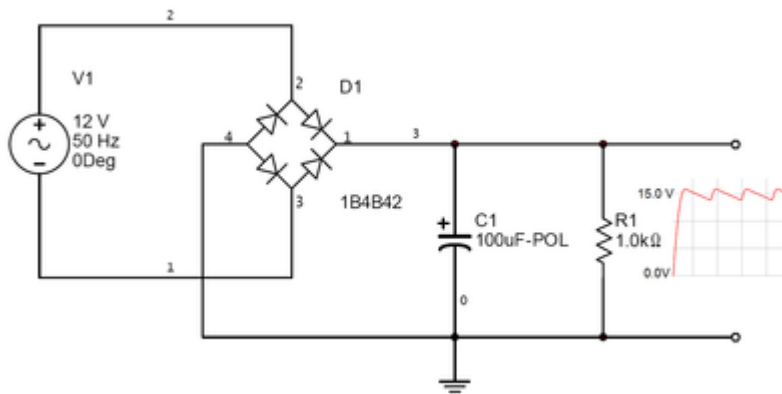
**Εικόνα 0.2.1 - Vacuum tube diodes, Mercury-vapor rectifier, Solid-state diodes, Thyristor**

Οι Rectifiers έχουν πολλές χρήσεις, αλλά κυρίως τους συναντάμε στη μετατροπή εναλλασσόμενου σε συνεχές ρεύμα.

---

<sup>1</sup> Silicon = Πυρίτιο

Για την μετατροπή χρησιμοποιούμε διόδους στο κύκλωμά μας, πυκνωτές και αντιστάσεις σε κατάλληλες συνδεσμολογίες για να πετύχουμε όσο δυνατόν πιο ομαλή τάση στην έξοδο. Ένα κύκλωμα ανόρθωσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 0.2.2 το οποίο συνδιάζεται και με φίλτρο πυκνωτή.



**Εικόνα 0.2.2 - RC-Filter Rectifier**

### 0.3 - Μετατροπή Συνεχούς Ρεύματος Σε Εναλλασσόμενο (Inverter)



Η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ονομάζεται Inverter.

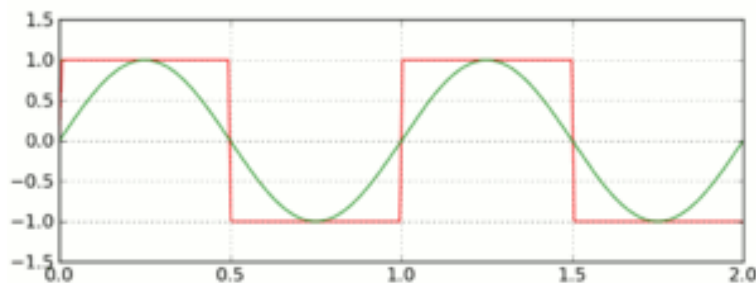
Οι Invertors μπορούν να προσφέρουν οποιαδήποτε τιμή της τάσης του ρεύματος (V) ή της συχνότητάς του (Hz) με τη χρήση του κατάλληλου Μετασχηματιστή/Switching και των κυκλωμάτων ελέγχου.

Ο Μετατροπέας (Inverter) πραγματοποιεί ακριβώς την αντίστροφη λειτουργία του Ανορθωτή-Διορθωτή (Rectifier).

#### 0.3.1 – Είδη Κυμάτων

Αναλόγως με τις συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε, χρησιμοποιούμε αντίστοιχο είδος Inverter που παράγει ένα συγκεκριμένο είδος κύματος στην έξοδο.

##### 0.3.1.1 - Square Wave Inverters

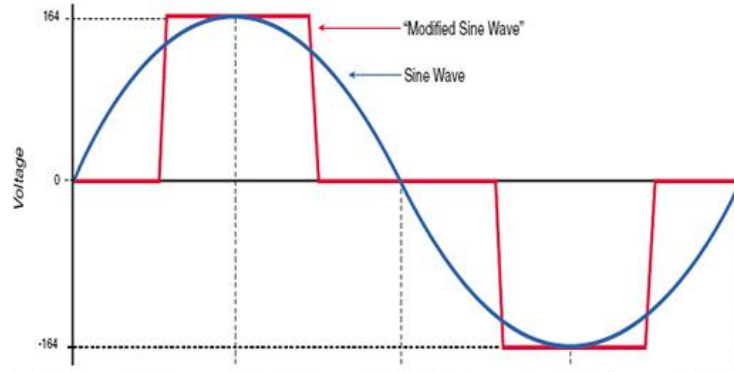


**Εικόνα 0.3.1.1.1 - Square Wave.**

Αυτό είναι το πιο απλό είδος κύματος εξόδου στους Inverters. Ένας απλός ταλαντωτής (oscillator) χρησιμοποιείται για να παράγει Square Wave ή ένα κύκλωμα όπως αυτό του Inverter της Εικόνας 0.3.1.2.2.

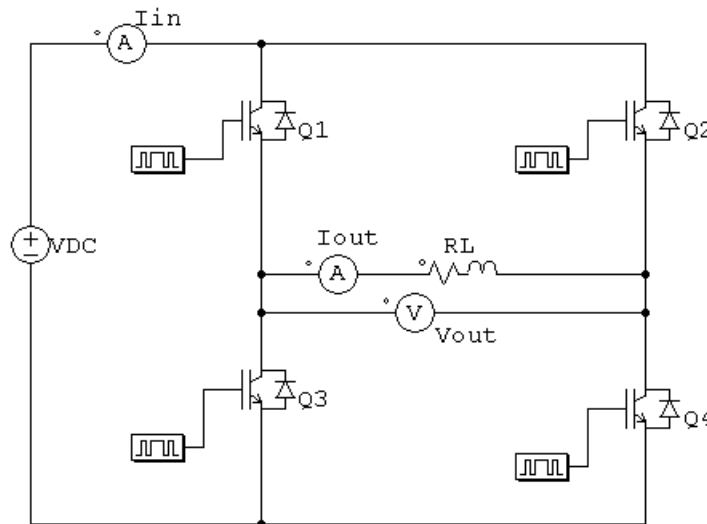
Οι απλοί Inverters που παράγουν απλούς τετραγωνικούς παλμούς σήμερα δεν είναι σε συ-  
χνή χρήση διότι παράγουν πολλές αρμονικές σε σχετικά χαμηλές συχνότητες μια και η μορφή της  
τάσης απέχει πολύ από την μορφή μιας ημιτονοειδούς τάσης. Έτσι μπορούν να δημιουργήσουν  
προβλήματα στο φορτίο.

### 0.3.1.2 - Modified Sine Wave Inverter



Εικόνα 0.3.1.2.1 – Ένα Modified Sine Wave.

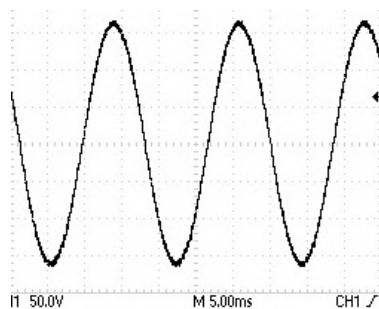
Οι πιο συνήθεις, γενικής χρήσης, Inverters οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε πολύ ανταγωνιστι-  
κές τιμές έχουν αποδοτικότητα και είναι πολύ φτηνοί για να κατασκευαστούν.



Εικόνα 0.3.1.2.2 – Κύκλωμα μονοφασικού Inverter

Η έξοδος του Modified Sine Wave Inverter είναι παρόμοια με τον Square Wave με τη μόνη  
διαφορά ότι η έξοδος πέφτει στα 0 Volts πριν γίνει η εναλλαγή στο θετικό ή αρνητικό

### 0.3.1.3 - Pure Sine Wave

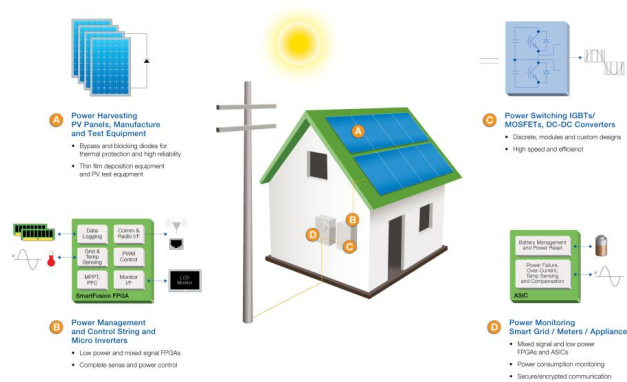


Εικόνα 0.3.1.3.1 - Pure Sine Wave

Οι Inverters του είδους αυτού χρησιμοποιούνται στις ευαίσθητες συσκευές λόγω του ότι παράγουν σχεδόν τέλειο ημιτονοειδές κύμα εξόδου.

Είναι λίγο πιο περίπλοκη και ακριβή κατασκευή από τα προηγούμενα.

### 0.3.1.4 - Grid Tie Inverter (Synchronous Inverter)



Εικόνα 0.3.1.4.1 - Solar Grid Tied Inverter

Ο Grid-Tie Inverter (G.T.I) συνήθως χρησιμοποιείται για την μετατροπή συνεχούς ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακοί συλλέκτες ή ανεμογεννήτριες κ.τ.λ., και την παροχή του σε ένα δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος (π.χ. ενός σπιτιού).

Η τεχνική ονομασία του Grid-Tie Inverter είναι "Grid-Interactive Inverter", αλλά ορισμένες φορές αναφέρεται και ως Synchronous Inverters (Σύγχρονοι Μετατροπείς).

### 0.3.2 - Εφαρμογές



**Εικόνα 0.3.2.1 - Μπαταρίες, Ηλιακά panel & Κυψέλες καυσίμου.**

Οι Inverters χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν την αποθηκευμένη ενέργεια συνεχούς ρεύματος από τα τροφοδοτικά (όπως μπαταρίες) σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι Inverters μπορεί να είναι μικρές φορητές συσκευές οι οποίες συνδέονται στο αυτοκίνητο ή το σκάφος, αλλά μπορεί να είναι και μεγάλες συσκευές, οι οποίες είναι μόνιμα εγκατεστημένες, μαζί με κάποιο στοιχείο μπαταρίας, οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

#### 0.3.2.1 - Γενικές Εφαρμογές

Ένας Inverter μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετατρέπει οποιαδήποτε πηγή ρεύματος D.C. σε A.C. Οι μικροί μετασχηματιστές τροφοδοτούν υπολογιστές, μικρές συσκευές, αντλίες, ηλεκτρικά εργαλεία ή άλλα προσωπικά ηλεκτρονικά αντικείμενα.

#### 0.3.2.2 - Εφεδρικά Τροφοδοτικά



**Εικόνα 0.3.2.2.1 - UPS - 900 Watt - Lead acid 8.5 Ah.**

Οι Inverters μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σε συνδυασμό με τις μπαταρίες, για την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος ή άλλων διακοπών στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Όταν η παροχή ρεύματος λειτουργεί, ο Inverter τροφοδοτεί με ρεύμα το κύκλωμα και ταυτόχρονα φορτίζει τις μπαταρίες. Κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος, η τροφοδοσία αλλάζει από τον Inverter αυτόματα στην εφεδρική μπαταρία.

### 0.3.2.3 - Inverters στα Αυτοκίνητα



**Εικόνα 0.3.2.3.1 - Υβριδικός Κινητήρας.**

Οι Inverters έχουν ενσωματωθεί στις μπαταρίες και στα ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης των υβριδικών αυτοκινήτων. Σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο, ο Inverter εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς. Μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο για την κίνηση του ηλεκτροκινητήρα και μετατρέπει το AC ρεύμα των γεννητριών του οχήματος σε DC για να επαναφορτίσει την μπαταρία.

Η ενέργεια που παράγεται από τα συστήματα πέδησης του αυτοκινήτου είναι επίσης προσαρμοσμένη ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική φόρτιση της μπαταρίας. Η ενέργεια αυτή παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Οι Inverters χρησιμοποιούνται και σε συμβατικά αυτοκίνητα για τη μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα από την μπαταρία του αυτοκινήτου για την τροφοδότηση μικρών ηλεκτρονικών συσκευών.

### 0.3.2.4 - Inverters στα Κλιματιστικά



Εικόνα 0.3.2.4.1 – Inverter του κλιματιστικού.

Οι Inverters χρησιμοποιούνται και στα κλιματιστικά για να αυξάνουν την απόδοσή τους, αλλάζοντας το φορτίο ανάλογα με την θερμοκρασία.

Όταν χρειαστεί, ο Inverter παρέχει την μέγιστη ισχύ στον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος κινεί τον συμπιεστή και όταν η θερμοκρασία του δωματίου πέσει, ο Inverter μειώνει το φορτίο στη κατάσταση λειτουργίας

### 0.3.2.5 - Inverters σε Συστήματα Ηλιακής Ενέργειας.



Εικόνα 0.3.2.5.1 – Inverter ηλιακού συστήματος ενέργειας.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος η οποία μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο για την τροφοδότηση του σπιτιού μας.



Ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά αποθηκεύεται σε μια μπαταρία ή σε μια διάταξη μπαταριών και στη συνέχεια τροφοδοτεί τον Inverter για να μετασχηματιστεί. Μόλις η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια μετατραπεί σε 220 volt AC τροφοδοτεί τις πρίζες του σπίτι μας.

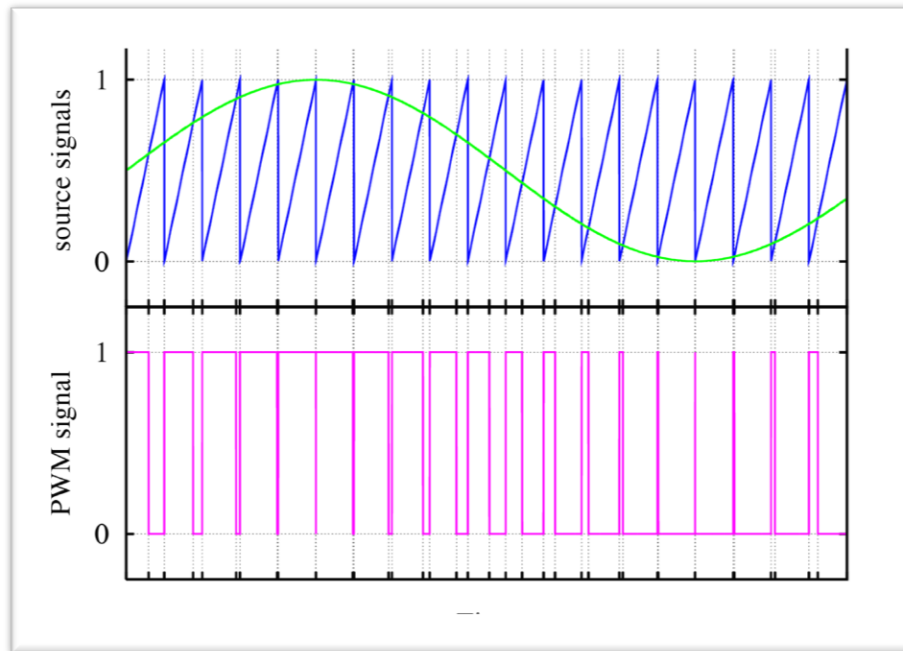
### 0.3.2.6 - Μεταφορά Ισχύος Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος



**Εικόνα 0.3.2.6.1 - Η πρώτη παγκόσμια εγκατάσταση στην Cahora Bassa, Mozambique, South Africa to 1970**

Για να πραγματοποιηθεί αυτό, το συνεχές ρεύμα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα και έπειτα μεταφέρεται σε μια άλλη περιοχή. Στην άφιξη, μια εγκατάσταση ανορθωτών μετατρέπει το ρεύμα ξανά σε συνεχές.

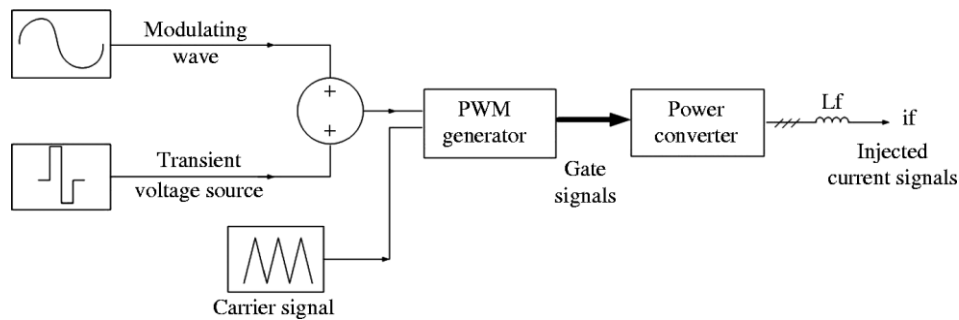
Μια τέτοια εγκατάσταση συμφέρει για μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος σε μακρινές αποστάσεις, είναι λιγότερο ακριβή και έχει μικρότερη ηλεκτρική απώλεια.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ P.W.M**

**Pulse Width Modulation** (Διαμόρφωση Εύρους Παλμών) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί ένα ψηφιακό κύκλωμα για να δημιουργήσει ένα μεταβλητό αναλογικό σήμα. Το P.W.M. σαν έννοια είναι απλή, ανοίγει και να κλείνει ένα διακόπτη με ομοιόμορφα, επαναλαμβανόμενα χρονικά διαστήματα.

Σήμερα η τεχνική P.W.M. έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως τον έλεγχο τάσης, ρεύματος, ηλεκτροκινητήρα, ισχύος, στα U.P.S, στους Inverters κ.α.

## 1.1 - Ο Ψηφιακός Έλεγχος

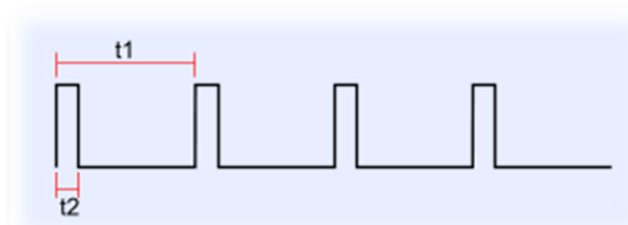


Εικόνα 1.1.1 - Απλοποιημένο διάγραμμα παραγωγής σήματος P.W.M.

Με το να ελέγχουμε ψηφιακά τα αναλογικά κυκλώματα, το κόστος του συστήματος και η κατανάλωση ενέργειας μειώνονται δραστικά. Επιπλέον, πολλοί μικροελεγκτές και DSPs<sup>2</sup> περιλαμβάνουν ήδη on-chip ελεγκτές P.W.M, καθιστώντας εύκολη την εφαρμογή.

Με λίγα λόγια, η τεχνική P.W.M<sup>3</sup> είναι ένας πανίσχυρος τρόπος στο να ελέγχουμε το αναλογικό σήμα του κυκλώματος και τα συστήματά του, χρησιμοποιώντας την ψηφιακή έξοδο των microprocessors.

Μέσω της χρήσης μετρητών υψηλής ανάλυσης, ο κύκλος λειτουργίας ενός τετραγωνικού παλμού διαμορφώνεται για να κωδικοποιεί μία συγκεκριμένη στάθμη αναλογικού σήματος. Το σήμα P.W.M είναι ακόμα ψηφιακό διότι σε κάθε χρονική στιγμή η πλήρης παροχή D.C είναι είτε ολοσχερώς on, είτε off. Η τάση ή η πηγή ρεύματος παρέχεται στο αναλογικό φορτίο με την έννοια των επαναλαμβανομένων σειρών on και off παλμών. Ο ενεργός χρόνος (on-time) είναι ο χρόνος κατά τη διάρκεια του οποίου η D.C παροχή εφαρμόζεται στο φορτίο και ο ανενεργός χρόνος (off-time) είναι ο χρόνος όπου η παροχή έχει κλείσει. Δεδομένου του επαρκούς εύρους ζώνης, κάθε αναλογική τιμή μπορεί να κωδικοποιηθεί με P.W.M.



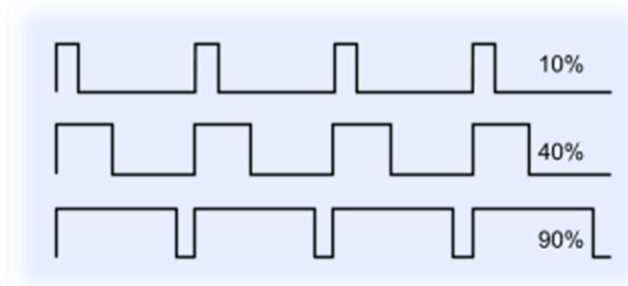
Εικόνα 1.1.2 - P.W.M σήμα

Ένα σήμα P.W.M χαρακτηρίζεται από τον κύκλο και χρόνο λειτουργίας του. Ο κύκλος λειτουργίας μετριέται σε επί τις εκατό (%) και η συχνότητα διαμόρφωσης σε Hz.

<sup>2</sup> DSPs = Digital Signal Processings

<sup>3</sup> P.W.M = Pulse-width modulation

Στην Εικόνα 1.1.3 εμφανίζονται τρία διαφορετικά P.W.M σήματα. Το πρώτο έχει 10% on της περιόδου κύκλου λειτουργίας, η δεύτερη έχει το 40% και η Τρίτη το 90%.



Εικόνα 1.1.3 - Κύκλοι λειτουργίας 10%, 40% και 90% της περιόδου.

Και τα τρία σήματα είναι ταλαντώσεις τετραγωνικών παλμών, διαμορφωμένα ως προς το πλάτος των ταλαντώσεων τους, πράγμα το οποίο ονομάζεται κύκλος λειτουργίας. Τα σήματα αυτά έχουν την ίδια συχνότητα, αλλά διαφέρουν ως προς το πλάτος της θετικής κατάστασης. Ο κύκλος λειτουργίας είναι το επί τις εκατό της θετικής κατάστασης της περιόδου του σήματος.

Επομένως,  $\text{Περίοδος } (T) = \frac{1}{\text{Συχνότητα } (F)}$

Αρα, 10% on του κύκλου λειτουργίας σημαίνει ότι η θετική κατάσταση παραμένει για 10% της περιόδου του σήματος.

Στην Εικόνα 1.1.4 έχουμε ένα απλό κύκλωμα το οποίο θα μπορούσε να οδηγηθεί χρησιμοποιώντας P.W.M. Στην εικόνα τροφοδοτούμε μία λάμπα πυρακτώσεως. Εδώ, για παράδειγμα, αν κλείναμε το διακόπτη για 50ms, η λάμπα θα λάμβανε 9V και αν τον ανοίγαμε για 50ms, η λάμπα θα λάμβανε 0V. Αν αυτό το κάνουμε 10 φορές σε ένα δευτερόλεπτο, η λάμπα θα φαινόταν ως συνδεδεμένη με πηγή 4,5V (50% × 9V). Το παραπάνω ονομάζεται κύκλος λειτουργίας 50% με συχνότητα διαμόρφωσης 10Hz.



Εικόνα 1.1.4 - Ένα απλό κύκλωμα με μια λάμπα, ένα διακόπτη και μια πηγή.

Οι περισσότερες εφαρμογές βέβαια χρειάζονται υψηλότερες συχνότητες. Πρέπει να υπολογίζουμε και το χρόνο απόκρισης της συσκευής (στις αλλαγές). Φανταστείτε για παράδειγμα να δίνουμε on για 5'' και off για 5''. Τότε ο κύκλος λειτουργίας θα ήταν 50% αλλά η τάση δε θα ήταν 4,5V. Η λάμπα θα ήταν αναμμένη για 5'' και σβηστή για άλλα 5''. Οι συχνότητες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι συνήθως από 1kHz έως 200kHz.

## 1.2 - Ελεγκτές



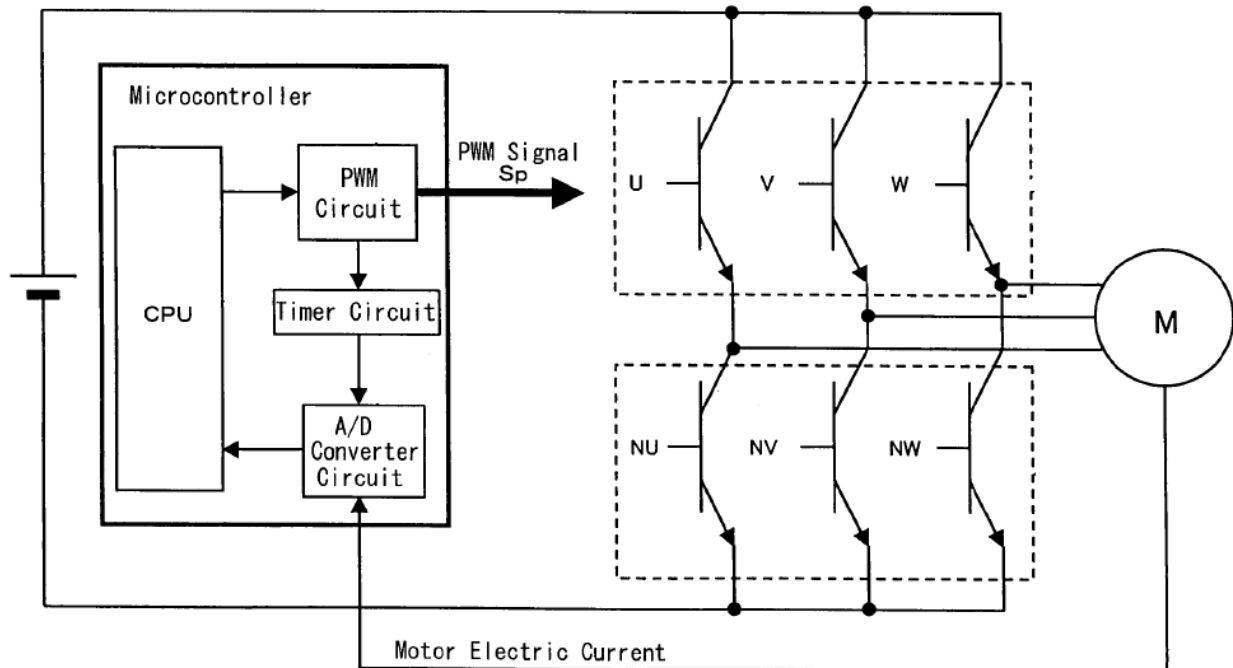
Εικόνα 1.2.1 - Microchip PIC16C67

Πολλοί μικρό-ελεγκτές εμπεριέχουν μέσα τους P.W.M ελεγκτές. Για παράδειγμα, ο μικρό-ελεγκτής microchip PIC16C67 περιέχει δύο, οι οποίοι έχουν επιλογή on-time και period. Ο κύκλος λειτουργίας είναι ο λόγος του on-time/period. Η συχνότητα διαμόρφωσης είναι το αντίστροφο της περιόδου. Για να θέσουμε την P.W.M λειτουργία συνήθως ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

1. Θέτουμε την περίοδο στον timer/counter του chip που παρέχει τον διαμορφωμένο τετραγωνικό παλμό.
2. Θέτουμε το on-time στον καταχωρητή ελέγχου του P.W.M.
3. Θέτουμε τη διεύθυνση της P.W.M εξόδου, πράγμα το οποίο είναι ένα από τα I/O pins γενικού σκοπού.
4. Ξεκινάμε τον χρονιστή.
5. Ενεργοποιούμε τον P.W.M ελεγκτή.

Αν και ο κάθε ελεγκτής P.W.M έχει το δικό του τρόπο προγραμματισμού και ελέγχου, η βασική ιδέα είναι γενικά σχεδόν η ίδια.

### 1.3 - Επικοινωνία και Έλεγχος των Κυκλωμάτων



Εικόνα 1.3.1 - Γενικό διάγραμμα που δείχνει τη δομή ενός συστήματος ελέγχου του κινητήρα με χρήση μικροελεγκτή.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των P.W.M είναι ότι το σήμα παραμένει ψηφιακό σε όλο το κύκλωμα από τον επεξεργαστή μέχρι το ελεγχόμενο σύστημα, χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια μετατροπή από ψηφιακό σε αναλογικό. Κρατώντας το σήμα ψηφιακό, φαινόμενα θορύβου ελαχιστοποιούνται. Ο θόρυβος μπορεί να επιδράσει σε ένα ψηφιακό σήμα, μόνο αν είναι τόσο ισχυρός ώστε να μπορεί να αλλάξει το λογικό 1 σε 0 και το αντίστροφο.

Η επίδραση του θορύβου είναι ένας λόγος για το οποίο επιλέγουμε P.W.M για αναλογικό έλεγχο και είναι ο βασικός λόγος χρήσης του στις επικοινωνίες. Εναλλάσσοντας ένα αναλογικό σήμα σε P.W.M μπορεί να αυξηθεί δραματικά το εύρος ενός επικοινωνιακού καναλιού. Στο άκρο λήψης, ένα ικανό R-C (αντίσταση - πυκνωτής) ή R-L (αντίσταση - πηνίο) κύκλωμα μπορεί να αφαιρέσει το διαμορφωμένο τετραγωνικό παλμό υψηλής συχνότητας και να επιστρέψει σήμα σε αναλογική μορφή.

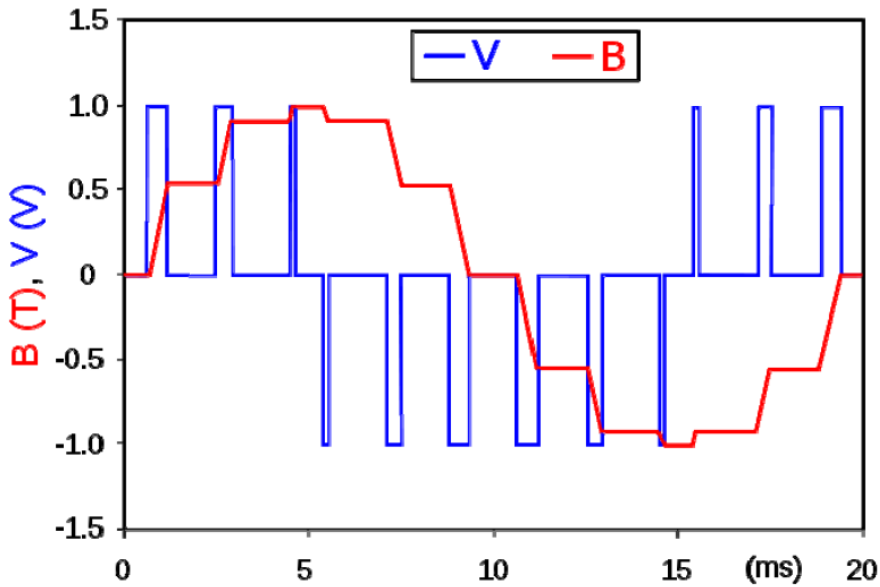
## 1.4 - Τρόπος Διαμόρφωσης

Η διαμόρφωση εύρους παλμών (P.W.M) είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος παροχής ενδιάμεσων ποσών ηλεκτρικής ισχύος μεταξύ πλήρης τάσης και μηδενικής τάσης. Ένας απλός διακόπτης ισχύος με μία τυπική πηγή παρέχει πλήρη ισχύ μόνο όταν ο διακόπτης είναι κλειστός. Είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνική που υλοποιείται από σύγχρονους ηλεκτρονικούς διακόπτες ισχύος.

Παλιότερα, όταν χρειαζόταν μερική ισχύς (για παράδειγμα στις ραπτικές μηχανές), ένας ροοστάτης (ο οποίος υπήρχε στη ραπτική μηχανή ως πετάλι στο πόδι) συνδεδεμένος σε σειρά με τον κινητήρα, ρύθμιζε το μέγεθος της έντασης του ρεύματος που θα περνούσε από τον κινητήρα, έχανε όμως, με τη μορφή θερμότητας, ισχύ στο στοιχείο αντίστασης.

Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για την εφαρμογή μερικής ισχύος σε άλλες συσκευές, όπως ηλεκτρικές θερμάστρες, ροοστάτες φωτός και ρομποτικούς σερβοκινητήρες. Βασικά, ένα μεταβλητό P.W.M σύστημα ισχύος διακόπτει την ισχύ γρήγορα μεταξύ πλήρως on και πλήρως off, για παράδειγμα, αρκετές φορές το λεπτό, σε έναν ηλεκτρικό φούρνο 120 Hz, σε ένα ροοστάτη λαμπτήρα καθώς και σε δεκάδες ή εκατοντάδες kHz σε ένα τροφοδοτικό υπολογιστή (το οποίο έχει ρυθμιστή εξόδου). Εν πάσει περιπτώσει, το ποσοστό εναλλαγών είναι πολύ πιο μεγάλο σε σχέση με το ποσοστό που θα μπορούσε να επηρεάσει το φορτίο, δηλαδή τη συσκευή που καταναλώνει την ισχύ. Στην πράξη, εφαρμόζοντας πλήρως την ισχύ, αυτό δεν θα προκαλέσει κανένα πρόβλημα για ένα μέρος χρόνου. Γενικώς, P.W.M είναι πολύ πρακτική.

Ο όρος «κύκλος λειτουργίας» περιγράφει την αναλογία του χρόνου on ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ένας χαμηλός κύκλος λειτουργίας αντιστοιχεί σε χαμηλή ισχύ, διότι η ισχύς είναι off για μεγαλύτερο διάστημα. Ο κύκλος λειτουργίας περιγράφεται με ποσοστό επί της 100 που η ισχύς είναι on. Η τεχνική P.W.M λειτουργεί καλά με ψηφιακούς ελεγκτές, διότι, λόγω της λογικής on/off, μπορούν εύκολα να ενεργοποιήσουν τον κύκλο λειτουργίας. Η τεχνική P.W.M ενός σήματος ή πηγής ισχύος εμπεριέχει τη διαμόρφωση του κύκλου λειτουργίας της για να μεταφέρει πληροφορίες σε ένα κανάλι επικοινωνίας ή να ελέγξει το ποσό της ισχύος που αποστέλλεται στο φορτίο.



Εικόνα 1.4.1 - P.W.M σε ένα ηλεκτροκινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος.

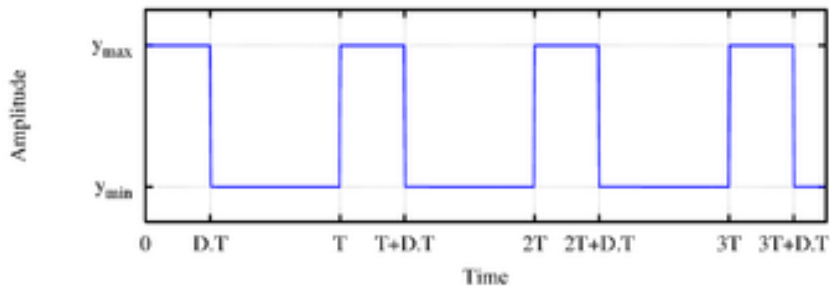
Ένα παράδειγμα P.W.M

Η τάση τροφοδοσίας (μπλε), διαμορφωμένη ως μια σειρά παλμών, δίνει ως αποτέλεσμα μια κυματομορφή πυκνότητας-ροής (κόκκινο) σε ένα μαγνητικό κύκλωμα ηλεκτρομαγνητικών ενεργοποιητών. Η ομαλότητα της προκύπτουσας κυματομορφής, μπορεί να ελέγχεται από το πλάτος και τον αριθμό των τετραγωνικών παλμών που διαμορφώνονται (ανά συγκεκριμένο κύκλο).

1.4.1 - Αρχή

Η διαμόρφωση εύρους παλμών (P.W.M), χρησιμοποιεί ένα κύμα τετραγωνικού παλμού, του οποίου το πλάτος διαμορφώνεται ως συνέπεια της μεταβολής της μέσης τιμής της κυματομορφής. Αν θεωρήσουμε μία κυματομορφή παλμού  $F(t)$  με ελάχιστη  $Y_{min}$  και μέγιστη  $Y_{max}$  και με κύκλο λειτουργίας  $D$  (βλέπε Εικόνα 1.4.1.1), η μέση τιμή της κυματομορφής δίνεται

από: 
$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1.4.1-1)$$



Εικόνα 1.4.1.1 – Κυματομορφή παλμού που απεικονίζει  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$  και  $D$ .

Εφόσον η  $F(t)$  είναι κύμα παλμών, η τιμή της είναι



$Y_{max}$  όταν  $0 < t < D \times T$  και

$Y_{min}$  όταν  $D \times T < t < T$

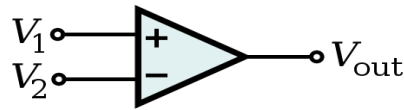
Τότε η σχέση (1.4.1-1) γίνεται :

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \left( \int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) = \frac{D \times T \times y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} = D \times y_{max} + (1-D)y_{min} \quad (1.4.1-2)$$

Η σχέση (1.4.1-2) μπορεί να απλοποιηθεί όταν  $Y_{MIN} = 0$  τότε  $\bar{y} = D \times y_{max}$

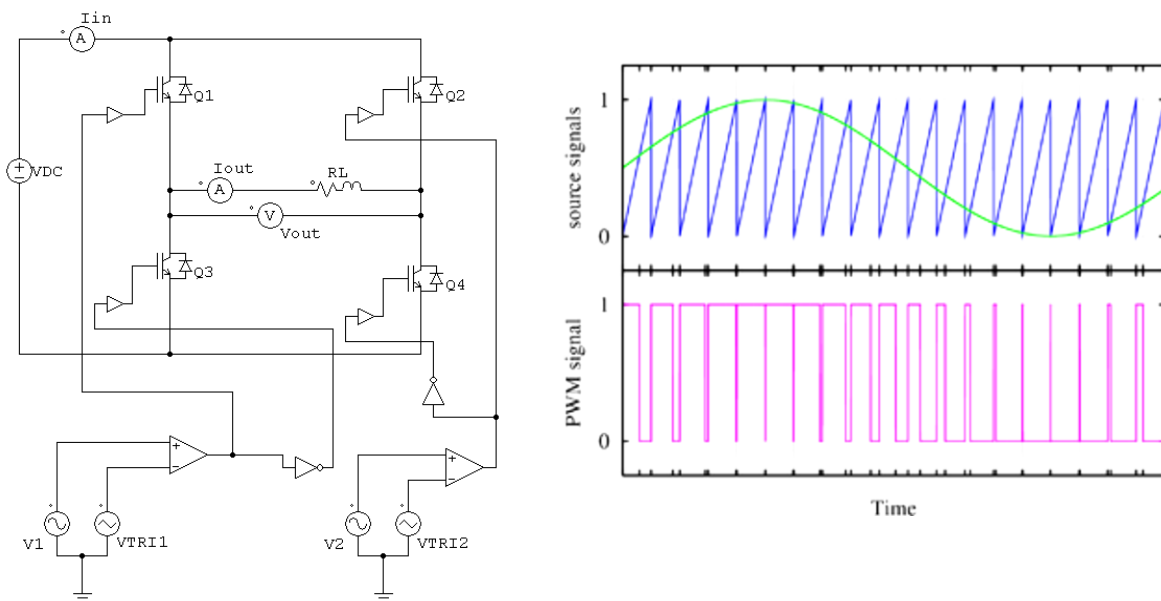
Είναι λοιπόν εμφανές ότι η μέση τιμή του σήματος εξαρτάται από τον κύκλο λειτουργίας D.

Ο πιο απλός τρόπος να παράγουμε ένα P.W.M. σήμα είναι η μέθοδος της συμβολής, η οποία απαιτεί μόνο μία πριονωτή ή τριγωνική κυματομορφή, και μια ημιτονοειδή κυματομορφή οι οποίες οδηγούνται σε έναν συγκριτή ο οποίος υλοποιείται από τελεστικό ενισχυτή όπως αυτός της Εικόνας 1.4.1.2.



**Εικόνα 1.4.1.2 – Συγκριτής (Comparator)**

Όταν η τιμή του σήματος αναφοράς (στην Εικόνα 1.4.1.3 η πράσινη ημιτονοειδής συνάρτηση) έχει μεγαλύτερη τιμή από την διαμορφωμένη κυματομορφή (μπλε τριγωνική συνάρτηση), τότε το σήμα P.W.M (ροζ - παλμοί) είναι μέγιστο ( $Y_{max} = High$ ), αλλιώς είναι ελάχιστο ( $Y_{min} = Low$ ).



**Εικόνα 1.4.1.3 - Παραγωγή σήματος P.W.M. με το πιο απλό τρόπο.**

Το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι μια λογική στάθμη 0, όταν το τρίγωνο είναι μεγαλύτερο του ημιτόνου. Μια λογική στάθμη είναι 1, όταν συμβαίνει το αντίθετο. Όπως διαπιστώνεται και από το σχήμα, το αποτέλεσμα της σύγκρισης εξαρτάται από τα σημεία τομής των δύο κυματομορφών.

Ο λόγος συχνοτήτων  $M_F$  μας δείχνει το αριθμό των παλμών στη θετική περίοδο και τον αριθμό των παλμών στην αρνητική περίοδο (P.W.M).

Για παράδειγμα

Λαμβάνοντας υπόψη τους ακόλουθους ορισμούς:

$A_{sin}$  = Το πλάτος της κυματομορφής αναφοράς.

$A_{tri}$  = Το πλάτος της κυματομορφής φρέα.

$F_{sin}$  = Η συχνότητα της κυματομορφής αναφοράς.

$F_{tri}$  = Η συχνότητα της κυματομορφής φρέα.

$M_A$  = Ο συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους.

$M_F$  = Ο συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας.

$$\text{Όπου:} \quad M_A = \frac{A_{sin}}{A_{tri}} \quad M_F = \frac{F_{tri}}{F_{sin}} \quad (1.4.1-3)$$

Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι, αυξομειώνοντας το συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους  $M_A$  (από 0 έως 1), μεταβάλλεται το εύρος των παλμών της κυματομορφής που προκύπτει από τη σύγκριση. Η διακριτική συχνότητα της κυματομορφής P.W.M είναι ίση με  $F_{tri}$ . Κάνοντας ανάλυση Fourier στην κυματομορφή που προκύπτει από την παραπάνω σύγκριση, διαπιστώνουμε ότι η βασική της αρμονική έχει συχνότητα  $F_{sin}$  (τη συχνότητα κυματομορφής αναφοράς) και πλάτος ανάλογο του  $M_A$  (του συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους).

Οι ανώτερες αρμονικές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ζώνες συχνοτήτων γύρω από τα ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας του τριγώνου. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη ομάδα περιέχει μια κεντρική αρμονική σε συχνότητα  $F_{tri}$ , καθώς επίσης και ένα σύνολο αρμονικών δεξιά και αριστερά της συχνότητας αυτής που δίνονται από τη σχέση:

$$F_v = F_{tri} \pm 2 \cdot n \cdot F_{sin} \quad (1.4.1-4)$$

Στη δεύτερη ομάδα δεν περιέχεται η κεντρική αρμονική με συχνότητα  $2 \cdot F_{tri}$ , αλλά ένα σύνολο αρμονικών που δίνονται από την σχέση :

$$F_v = 2 \cdot F_{tri} \pm (2 \cdot (n - 1)) \cdot F_{sin} \quad (1.4.1-5)$$

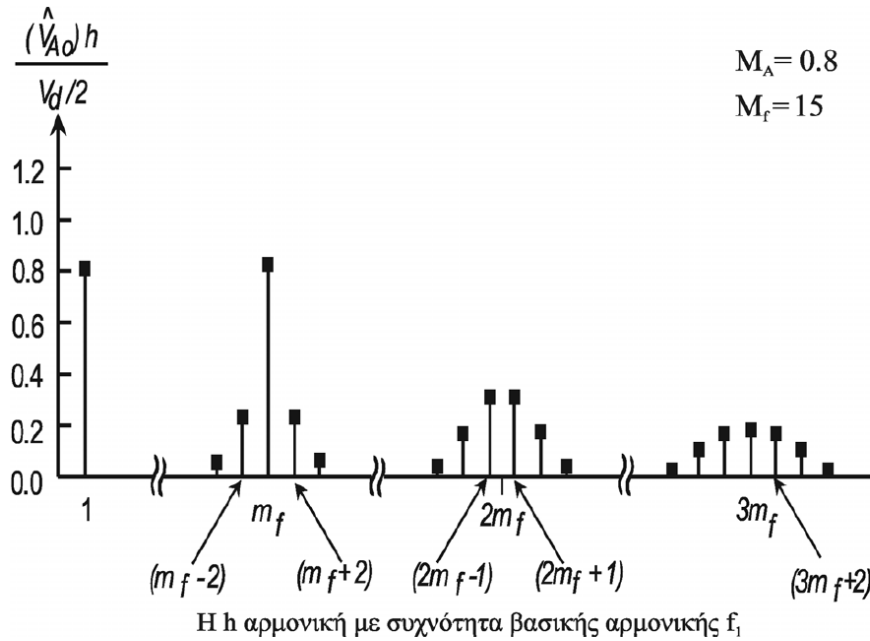
Για την τρίτη ομάδα ισχύει ότι και στην πρώτη, μόνο που η κεντρική αρμονική είναι σε συχνότητα  $3 \cdot F_{tri}$

Στην τέταρτη ομάδα ισχύει ότι και για την δεύτερη, αλλά με κεντρική συχνότητα  $4 \cdot F_{tri}$ .

Η λογική αυτή ισχύει και για τις υπόλοιπες ομάδες ανωτέρων αρμονικών, όπως φαίνεται στο σχήμα (1.4.1-4). Ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να πούμε πως ανώτερες αρμονικές εμφανίζονται σε συχνότητες που ακολουθούν τη σχέση :

$$F_v = n \cdot F_{tri} \pm k \cdot F_{sin} \quad (1.4.1-6)$$

όπου  $n=1,2,3$  και  $k=1,3,5$  εάν  $n$  = άρτιος ή  $k=2,4,6$  εάν  $n$  = περιττός

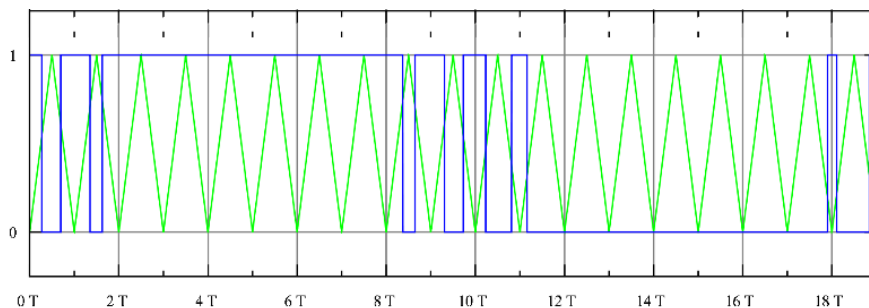


Εικόνα 1.4.1.4 - Αρμονικό περιεχόμενο ημιτονοειδούς P.W.M.

### 1.4.1.1 - Είδη P.W.M Διαμόρφωσης

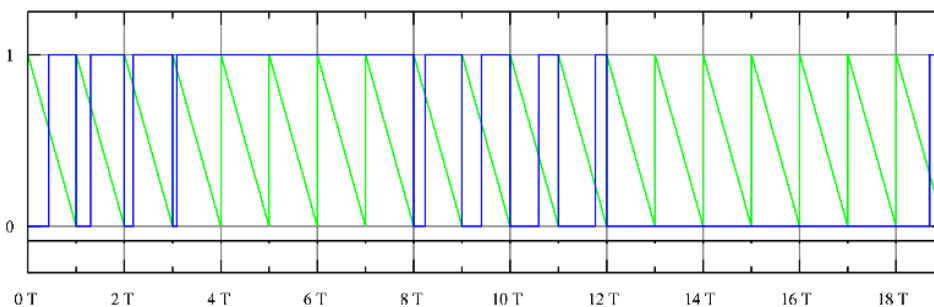
Τα είδη των P.W.M σημάτων είναι τέσσερα.

1. Το κέντρο του παλμού που ρυθμίζεται να είναι στο κέντρο του διαστήματος του χρόνου και τα δύο άκρα του παλμού να μετακινούνται ώστε να συρρικνώνεται ή να αυξάνεται το πλάτος του παλμού.



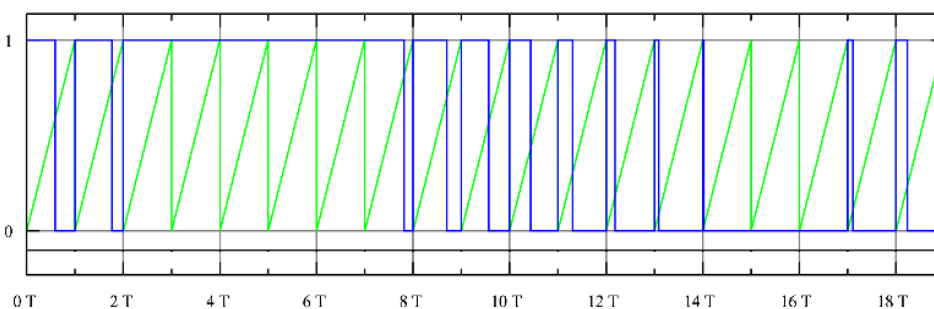
Εικόνα 1.4.1.1.1 – Κεντρικός παλμός. Το σήμα P.W.M. είναι η μπλε κυματομορφή και η πρασινή είναι η πριονωτή κυματομορφή.

2. Η οδηγούμενη ακμή (άκρο) μπορεί να διατηρηθεί στο οδηγούμενο άκρο του διαστήματος και στο διαμορφωμένο άκρο της ουράς.



Εικόνα 1.4.1.1.2 – Διαμόρφωση οδηγούμενης ακμής.

3. Το άκρο της ουράς μπορεί να διατηρηθεί και να διαμορφώνει το οδηγούμενο άκρο.



Εικόνα 1.4.1.1.3 – ‘Trailing edge’ Διαμόρφωση

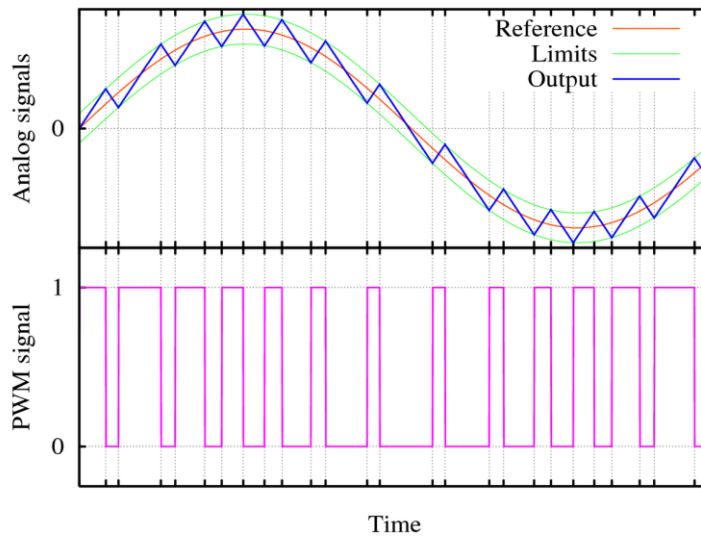
4. Η συχνότητα επανάληψης των παλμών μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το σήμα και τα πλάτη των παλμών να είναι σταθερά. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος έχει ένα πιο περιορισμένο φάσμα μέσης στάθμης εξόδου από ότι οι άλλες τρεις.

#### 1.4.1.1.1- Φάσμα

Τα φάσματα (και στις τρεις περιπτώσεις) είναι παρόμοια και το καθένα περιέχει μια D.C συνιστώσα, μία βασική πλευρική ζώνη η οποία περιέχει το διαμορφωμένο σήμα και τα φέροντα της διαμορφωμένης φάσης σε κάθε αρμονική της συχνότητας του παλμού. Τα πλάτη των αρμονικών περιορίζονται από την  $\sin(x)/x$  (ημιτονοειδής συνάρτηση) και εκτείνονται στο άπειρο.

#### 1.4.1.2 - Δέλτα (Delta)

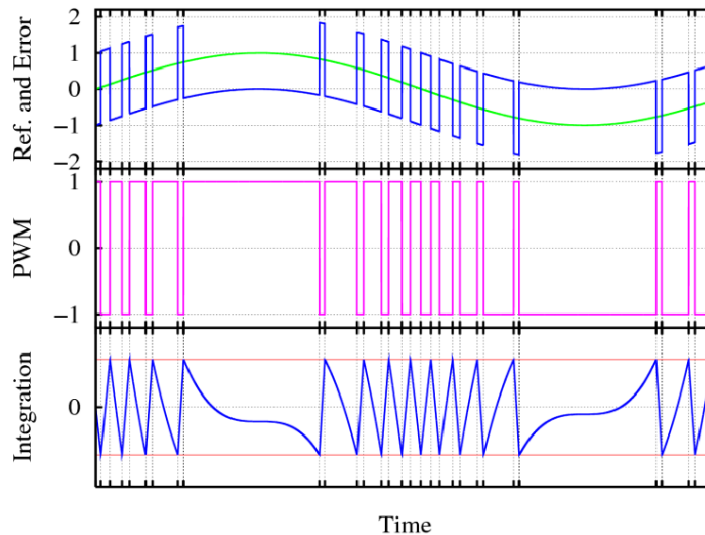
Στη χρήση της διαμόρφωσης Δέλτα (Delta) για έλεγχο P.W.M, το σήμα εξόδου (μπλε) ολοκληρώνεται και το αποτέλεσμα συγκρίνεται με τα όρια (πράσινο), τα οποία αντιστοιχούν σε ένα σήμα αναφοράς (πορτοκαλί), μετατοπισμένο σύμφωνα με μία σταθερά. Κάθε φορά που το σήμα εξόδου φτάνει σε ένα όριο (πράσινο), το σήμα P.W.M αλλάζει κατάσταση (ροζ παλμοί).



Εικόνα 1.4.1.2.1 - P.W.M Δέλτα (Delta).

### 1.4.1.3 - Δέλτα-Σίγμα (Delta-Sigma)

Στη διαμόρφωση Δέλτα-Σίγμα ως μία P.W.M μέθοδος ελέγχου, το σήμα εξόδου (το ροζ P.W.M) αφαιρείται από ένα σήμα αναφοράς (πράσινο) για να σχηματίσουν ένα σήμα λάθους (το μπλε στο πρώτο σχέδιο). Αυτό το λάθος ολοκληρώνεται (το μπλε στο τρίτο σχέδιο) και όταν το ολοκλήρωμα ξεπεράσει τα όρια (κόκκινες γραμμές), τότε η έξοδος αλλάζει κατάσταση.



Εικόνα 1.4.1.3.1 - P.W.M Δέλτα-Σίγμα (Delta-Sigma).

### 1.4.1.4 - Ψηφιακά

Πολλά ψηφιακά κυκλώματα μπορούν να παράγουν P.W.M σήματα (π.χ. πολλοί μικροελεγκτές έχουν P.W.M εξόδους). Συνήθως χρησιμοποιούν μετρητές οι οποίοι αυξάνουν περιοδικά τα σήματα (είναι συνδεδεμένα άμεσα ή έμμεσα με το ρολόι του συστήματος), τα οποία επανατίθενται στο τέλος κάθε περιόδου της P.W.M. Όταν η τιμή του μετρητή είναι πάνω από την τιμή αναφοράς, η έξοδος P.W.M αλλάζει κατάσταση από υψηλή σε χαμηλή (ή το αντίστροφο).

Η αύξηση και η περιοδική επανατοποθέτηση του μετρητή είναι η διακριτή εκδοχή του πρωτοτύπου σήματος. Ο αναλογικός συγκριτής υλοποιείται με έναν απλό συγκριτή ακέραιων τιμών ανάμεσα στην τιμή του υπάρχοντος μετρητή και την ψηφιακή τιμή αναφοράς. Ο κύκλος λειτουργίας μπορεί να κυμαίνεται μόνο σε διακριτές τιμές ως αποτέλεσμα της διακριτικότητας του μετρητή. Όμως, ένας μετρητής πολύ υψηλής διακριτικότητας μπορεί να παρέχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση.

Οι μέθοδοι έχουν ως στόχο την αύξηση του πλάτους της βασικής αρμονικής της πολικής τάσης και παράλληλα τη μείωση του πλάτους των ανώτερων αρμονικών. Συνήθως το μόνο που αλλάζει, σε σχέση πάντα με την κλασική μέθοδο, είναι η κυματομορφή αναφοράς, ενώ η υπόλοιπη λογική παραμένει ίδια.

Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν τεχνικές με ημίτονα αναφοράς εμπλουτισμένα σε ανώτερες αρμονικές 3<sup>ν</sup>-τάξης, με τις οποίες είναι δυνατή η δημιουργία τάσεων εξόδου ενεργού τιμής όσο και της τάσης εισόδου. Αξίζει εδώ να αναφέρουμε ότι οι σκόπιμα δημιουργημένες αρμονικές της τάξης 3<sup>ν</sup> στη έξοδο αλληλοαναιρούνται και δεν επηρεάζουν καθόλου τη λειτουργία των αντιστροφών ούτε και το αρμονικό περιεχόμενο του ρεύματος.

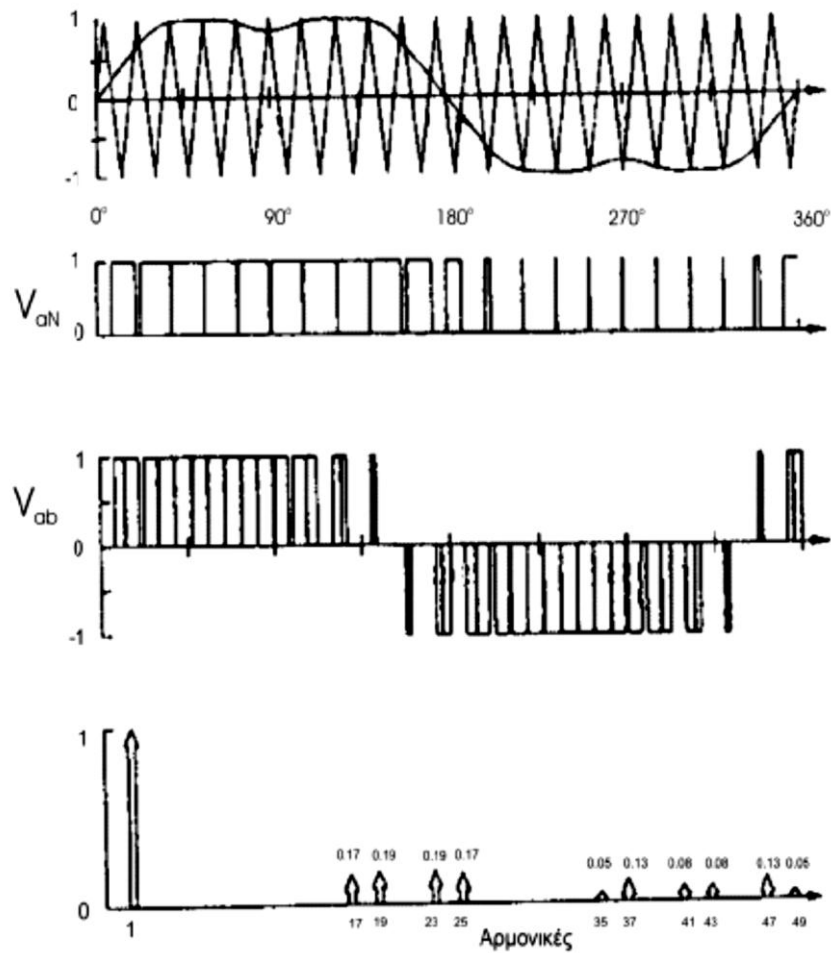
#### 1.4.1.5 - Μέθοδος H.I.P.W.M

Η μέθοδος ονομάζεται Τεχνική Έγχυσης Αρμονικών P.W.M (Harmonic Injection P.W.M Technique – H.I.P.W.M) και φαίνεται στην Εικόνα 1.4.1.5.1.

Αυτή η μέθοδος προκύπτει από την κλασική S.P.W.M<sup>4</sup>, εισάγοντας αρμονικές στην κυματομορφή αναφοράς, των οποίων οι συχνότητες είναι τριπλά πολλαπλάσιες της βασικής αρμονικής. Το αποτέλεσμα είναι μια ημιτονοειδής κυματομορφή με επίπεδη σχεδόν κορυφή, η οποία, όταν εφαρμοστεί, επιτρέπει υπερδιαμόρφωση (σε σχέση με την κλασική μέθοδο) και βελτιώνει το αρμονικό περιεχόμενο της πολικής τάσης.

---

<sup>4</sup> S.P.W.M = Sinusoidal Pulse width modulation [Ημιτονοειδής διαμόρφωσης πλάτους παλμού]



Εικόνα 1.4.1.5.1 - Τεχνική Έγχυσης Αρμονικών P.W.M

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά της είναι τα εξής :

- Η αναλυτική έκφραση της κυματομορφής αναφοράς είναι:

$$y = 1,15 \cdot \sin(\omega t) + 0,27 \cdot \sin(3\omega t) - 0,029 \cdot \sin(9\omega t) \quad (1.4.1.4.1-1)$$

- Το πλάτος της βασικής αρμονικής της πολικής τάσης είναι ίσο με 1 (ενώ για την SPWM είναι 0.87).

## 1.5 - Εφαρμογές

Το P.W.M είναι μια πάρα πολύ ισχυρή τεχνική ελέγχου αναλογικών κυκλωμάτων με ψηφιακές εξόδους. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται από ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, το οποίο κυμαίνεται από μετρήσεις και επικοινωνίες έως μετατροπείς και έλεγχοι ισχύος.

### 1.5.1 - Παροχής Ισχύος και ο Έλεγχος τους

Μια από τις πιο δημοφιλείς χρήσεις της τεχνολογίας P.W.M είναι ο έλεγχος της προσφερόμενης τάσης στο φορτίο.

Συστήματα ελέγχου υψηλής συχνότητας P.W.M είναι εύκολα να υλοποιηθούν με διακόπτες από ημιαγωγούς. Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, οι απώλειες είναι μηδαμινές από τους διακόπτες εντός ή εκτός της λειτουργίας. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της μεταβιβάσεως από on state σε off state, τόσο οι τάσεις όσο και τα ρεύματα δεν είναι μηδενικά, επομένως η ισχύς απορροφάται από τους διακόπτες. Βέβαια, στις αλλαγές των καταστάσεων, από πλήρως on και πλήρως off (συνήθως είναι λιγότερο από 100 νάνο-δευτερόλεπτα), η ισχύς αυτή είναι αρκετά χαμηλότερη σε σύγκριση με την ισχύ που προσφέρεται στο φορτίο.



**Εικόνα 1.5.1.1 - Stepper ηλεκτροκινητήρες, DC ηλεκτροκινητήρας, ροοστάτης.**

Αυτά τα φόρτια θα μπορούσαν να είναι

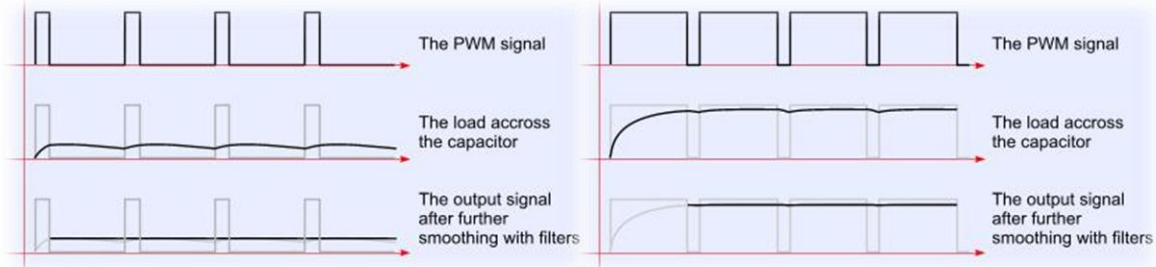
- Stepper ηλεκτροκινητήρες στα C.N.C<sup>5</sup> για άμεση επιλογή και τοποθέτηση εργαλείου.
- Ένας ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος (D.C Motor) ο οποίος να χρησιμοποιείται ως servo-motor σε μια δορυφορική κεραία του караβιού ή σε άλλες εφαρμογές.
- Ένας ηλεκτροκινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος (A.C. Motor), του οποίου η ταχύτητα περιστροφής ελέγχεται από σύστημα P.W.M.

<sup>5</sup> C.N.C = Computer Numerical Control



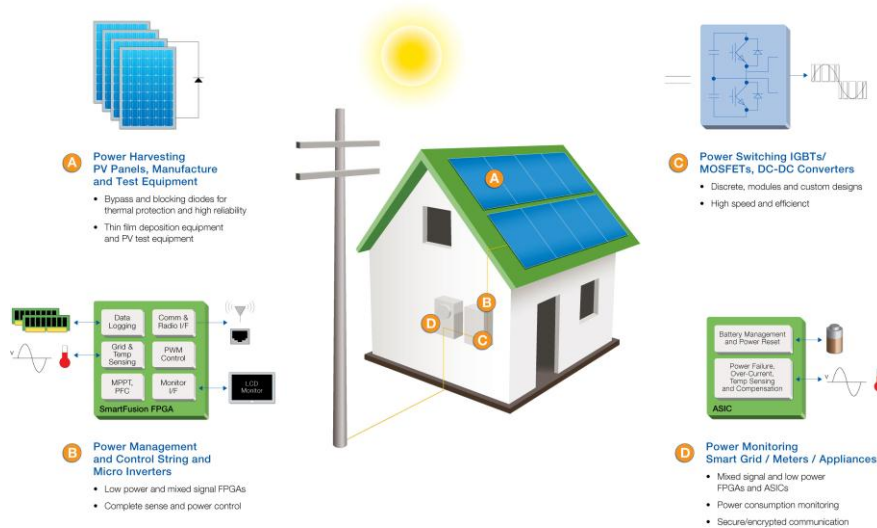
- Ένας ανεμιστήρας μεταβλητής ταχύτητας του συνεχούς ρεύματος σε ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. Η/Υ)
- Ένας ροοστάτης φωτεινότητας ο οποίος θα ρυθμίζει την ένταση της φωτεινότητας των λαμπτήρων σ' ένα σπίτι.

$$P_{\text{Προσφερόμενη}} = P_{\text{Παροχής}} \times \text{Κύκλος λειτουργίας}$$



Εικόνα 1.5.1.2 – Ένα γενικό παράδειγμα της λειτουργίας των switching power supplies.

Επίσης, η τεχνική P.W.M. χρησιμοποιείται και σε εγκαταστάσεις παροχής ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (D.C. δίκτυα) σε δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 1.5.1.3 – Παράδειγμα εφαρμογής των P.D.W. σε οικιακό δίκτυο παραγωγής D.C.

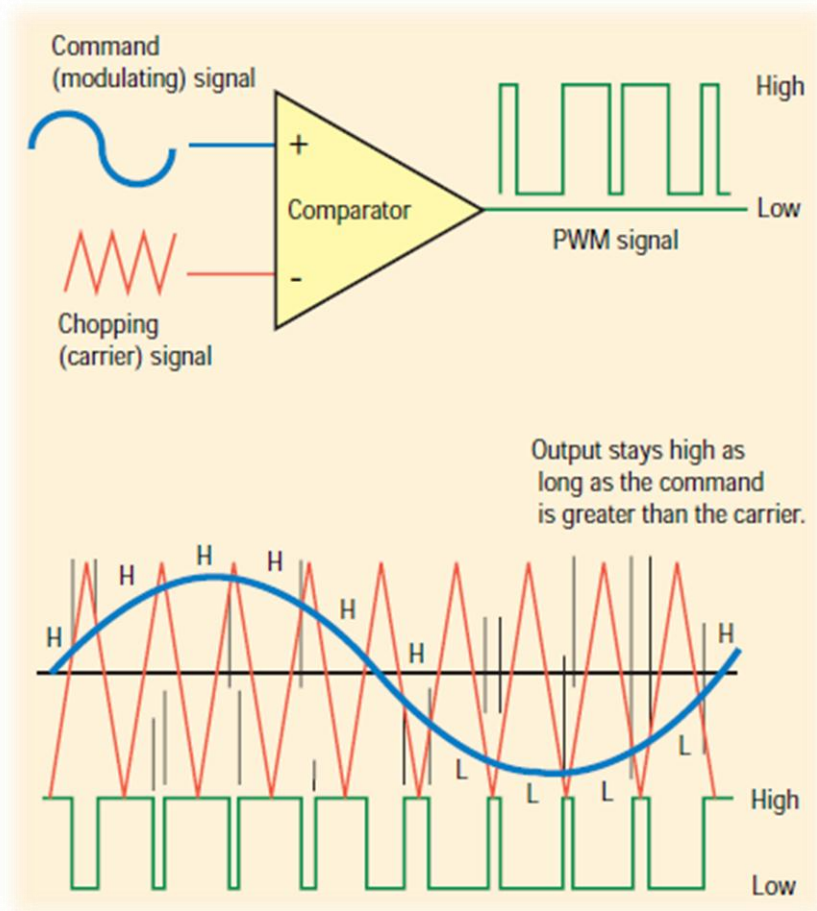
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα φωτοβολταϊκά, όπου το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα panel, με την βοήθεια της τεχνικής S.P.W.M., μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα.



1.5.2.2 - Μετάδοση Αναλογικού Σήματος

Η τεχνολογία P.W.M χρησιμοποιείται αρκετά στην περίπτωση της «Διαμόρφωσης – Μετάδοσης» αναλογικών σημάτων.

Η διαμόρφωση πραγματοποιείται κυρίως με την μέθοδο intersective P.W.M. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το εισερχόμενο αναλογικό σήμα και η πριονωτή κυματομορφή οδηγούνται σε ένα συγκριτή. Κάθε φορά που η τάση της πριονωτής κυματομορφής είναι μικρότερη του εισερχόμενου σήματος, η τάση εξόδου του P.W.M είναι υψηλή και αντίστροφα.



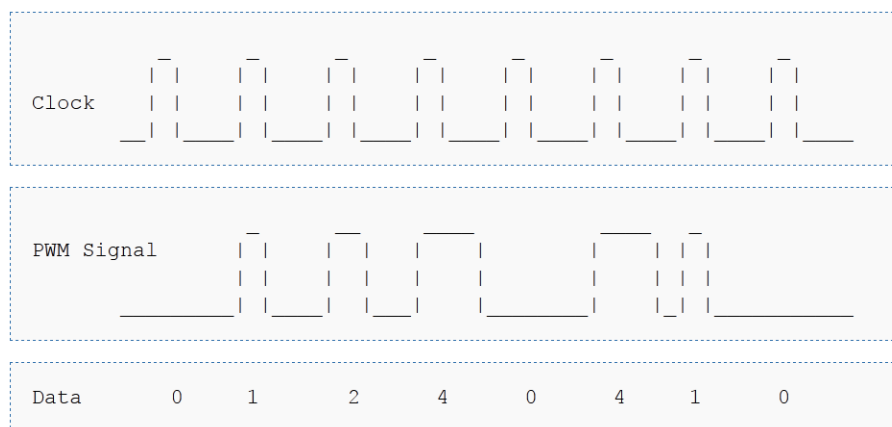
Εικόνα 1.5.2.2.1 – Παράδειγμα της λειτουργίας του P.W.M.

Το αναλογικό σήμα (μπλέ) συγκρίνεται με την πριονωτή κυματομορφή (πορτοκαλή). Ο συγκριτής παράγει σήμα (πράσινο), διαμορφωμένο και έτοιμο για μετάδοση.

1.5.3 - Τηλεπικοινωνίες

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, τα πλάτη των παλμών αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες τιμές δεδομένων, οι οποίες κωδικοποιούνται σε μια άκρη και αποκωδικοποιούνται σε μια άλλη.

Παλμοί με διαφορετικά μήκη (οι πληροφορίες) στέλνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (η φέρουσα συχνότητα τις διαμόρφωσης).



**Εικόνα 1.5.3.1 – Σήμα τηλεπικοινωνιών.**

Στην περίπτωση αυτή, το σήμα ρολογιού (Clock Signal) δεν είναι απαραίτητο επειδή, προσθέτοντας στα δεδομένα μια μικρή τιμή "απόκλισης" (Offset), μια οδηγητική ακμή (Leading edge) του σήματος δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ρολόι προκειμένου να αποφευχθεί η τιμή του δεδομένου με μηδενικό πλάτος παλμού.

#### 1.5.4 - Ήχος και Ενισχυτές

Στη σημερινή εποχή κυριαρχούν οι ψηφιακές τεχνικές στην καταγραφή, επεξεργασία και αναπαραγωγή του ήχου, στα ψηφιακά μέσα αποθήκευσης (CDDA, SACD, DVD-Audio) και στην μετάδοση του ήχου (DAB, HDTV). Παράλληλα, η έρευνα έχει στραφεί στην υλοποίηση πλήρους ψηφιακής αλυσίδας καταγραφής και αναπαραγωγής του ήχου με αντικατάσταση των συνηθισμένων αναλογικών ενισχυτών από ψηφιακούς. Οι ψηφιακοί ενισχυτές δέχονται τα ψηφιακά δεδομένα ήχου χωρίς μετατροπή σε αναλογικά και, με κατάλληλη επεξεργασία, πραγματοποιούν ενίσχυση του σήματος και οδήγηση των μεγαφώνων.

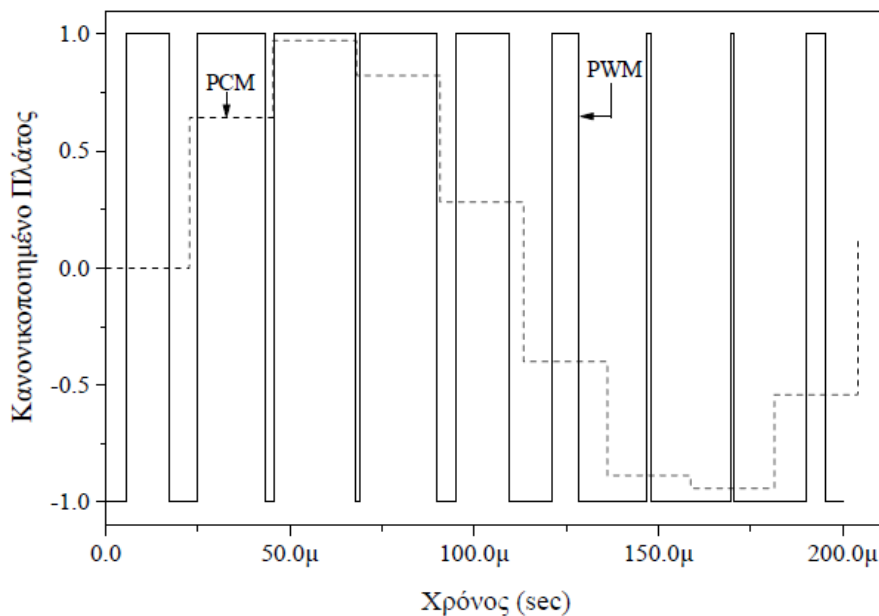
Τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής ενίσχυσης έναντι της αναλογικής είναι φανερά, καθώς

- Υλοποιείται με αρκετά μεγαλύτερες αποδόσεις σε αντίθεση με την αναλογική (80% - 90% σε σύγκριση με 20% - 30% που επιτυγχάνουν τα αναλογικά συστήματα ενίσχυσης ισχύος). Έτσι, επιτρέπει την κατασκευή συσκευών υψηλής ισχύος με μικρό όγκο, βάρος και κόστος.
- Απαλλάσσει από την χρήση μετατροπέων ψηφιακού σε αναλογικό και έτσι εξαλείφονται οι παραμορφώσεις που αυτοί προκαλούν.

- Μειώνει τις αναλογικές προσθετικές πηγές θορύβου, όπως μετατροπείς ψηφιακού σε αναλογικό, προενισχυτές, καλωδιώσεις μεταξύ των συσκευών, διαδοχικά στάδια κέρδους, βρόχοι ανάδρασης, κλπ.

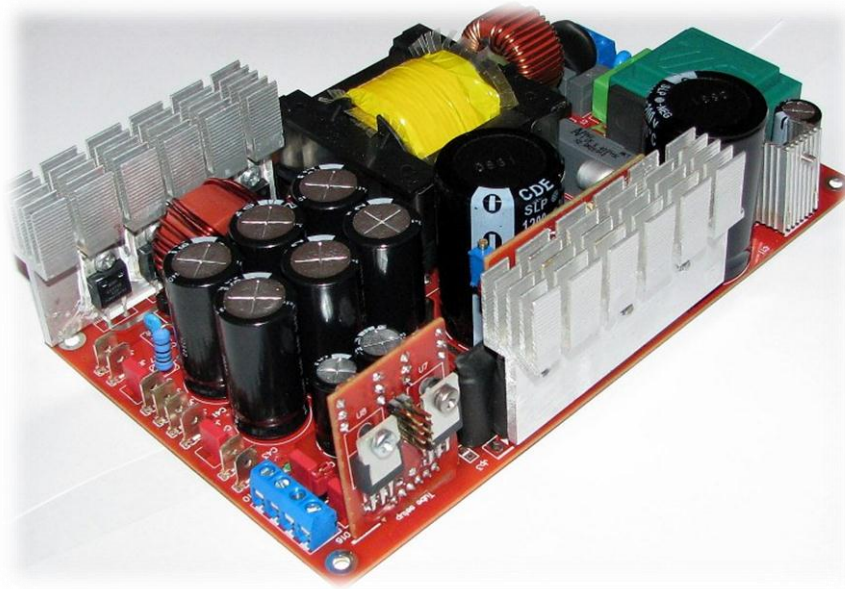
Οι τεχνολογίες για την υλοποίηση συστημάτων ψηφιακής ενίσχυσης είναι δύο. Η πρώτη βασίζεται στη διαμόρφωση εύρους των παλμών, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί τη διαφορική διαμόρφωση τύπου Σ.Δ (Sigma Delta Modulation).

Στους ενισχυτές τεχνολογίας P.W.M ο διαμορφωτής μετατρέπει το ψηφιακό σήμα εισόδου σε σήμα του 1-bit με μεταβαλλόμενο χρονικό πλάτος παλμών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.5.4.1. Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι σε κάθε περίοδο της αρχικής δειγματοληψίας εμφανίζεται μόνο ένας παλμός με αποτέλεσμα η συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF) της P.W.M να είναι πολύ χαμηλότερη και πιο σταθερή της Σ.Δ. Ως αποτέλεσμα, η απόδοση των ψηφιακών ενισχυτών τύπου P.W.M είναι πολύ μεγαλύτερη ενώ η διαμόρφωση είναι λιγότερο ευαίσθητη σε παραμορφώσεις ολίσθησης χρονισμού τόσο της ψηφιακής παλμοσειράς όσο και του σταδίου ισχύος.



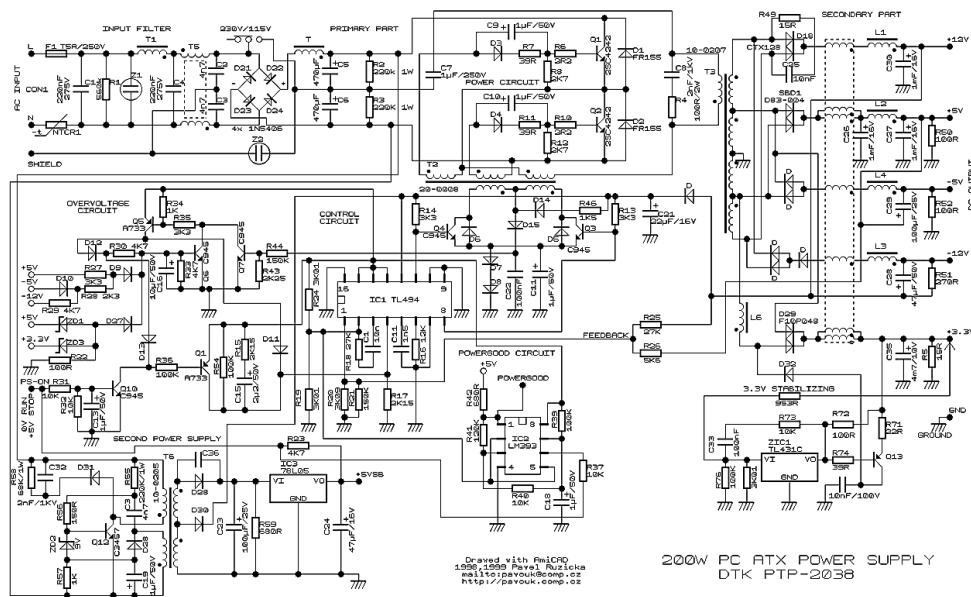
**Εικόνα 1.5.4.1 - Τυπική μορφή P.C.M. και P.W.M. κυματομορφής για ημίτονο πλάτους 0.18dB relative Full Scale, συχνότητας 5kHz.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ SWITCHING



Το Παλμοτροφοδοτικό (S.M.P.S) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία μετατρέπει μια ασταθή εισερχόμενη τάση (συνεχή ή εναλλασσόμενη) σε μια συνεχή τάση άλλου επιπέδου. Σε αντίθεση με τον ανορθωτή τάσης, το παλμοτροφοδοτικό έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Σε αντίθεση με τα κοινά τροφοδοτικά με μετασχηματιστές 50-60 Hz, τα παλμοτροφοδοτικά μετατρέπουν πρωτίστως την τάση σε συνεχή, στη συνέχεια τη μετατρέπουν σε εναλλασσόμενη τάση υψηλότερης συχνότητας και μετά το μετασχηματισμό την επαναφέρουν σε συνεχή.



Εικόνα 2.0.1 - Τυπικό διάγραμμα ενός low-end τροφοδοτικού τύπου ATX.

## 2.1 - Τεχνικό Υπόβαθρο

Τα κοινά τροφοδοτικά περιέχουν έναν μετασχηματιστή για το μετασχηματισμό της τάσης. Η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς με μετασχηματιστές αυξάνεται χωρίς απώλειες αναλογικά με τη συχνότητα. Όταν λειτουργεί ο μετασχηματιστής με υψηλότερη συχνότητα, μπορεί να μεταφέρει περισσότερη ισχύ (και το αντίστροφο).

Σαν συνέπεια της υψηλότερης συχνότητας το βάρος του πυρήνα του μετασχηματιστή μπορεί για την ίδια ισχύ να μειωθεί αισθητά και το τροφοδοτικό να γίνει ελαφρύτερο.

Οι πυρήνες των μετασχηματιστών των παλμοτροφοδοτικών κατασκευάζονται από φερρίτη (φερομαγνητική κεραμική) ή από ρινίσματα σιδήρου για τη μείωση των απωλειών του ρεύματος (υστέρηση, δινορεύματα). Ακόμη και τα τυλίγματα του Μετασχηματιστή, σε υψηλές συχνότητες, κατασκευάζονται σαν επίπεδο τύλιγμα χαλκού για την αποφυγή του επιδερμικού φαινομένου.

Για παράδειγμα ένας μετασχηματιστής για τη μεταφορά 4.000 W ζυγίζει περίπου **25 κιλά** στα **50 Hz**, ενώ στα **125 kHz** μόνο **0,47 κιλά**

Οι γρήγορες αλλαγές στην τάση και την ένταση σε ένα παλμοτροφοδοτικό οδηγούν σε θορύβους υψηλής συχνότητας, οι οποίοι θα πρέπει να μειωθούν με τη χρήση φίλτρων.

## 2.2 - Χρήσεις Και Ιδιότητες

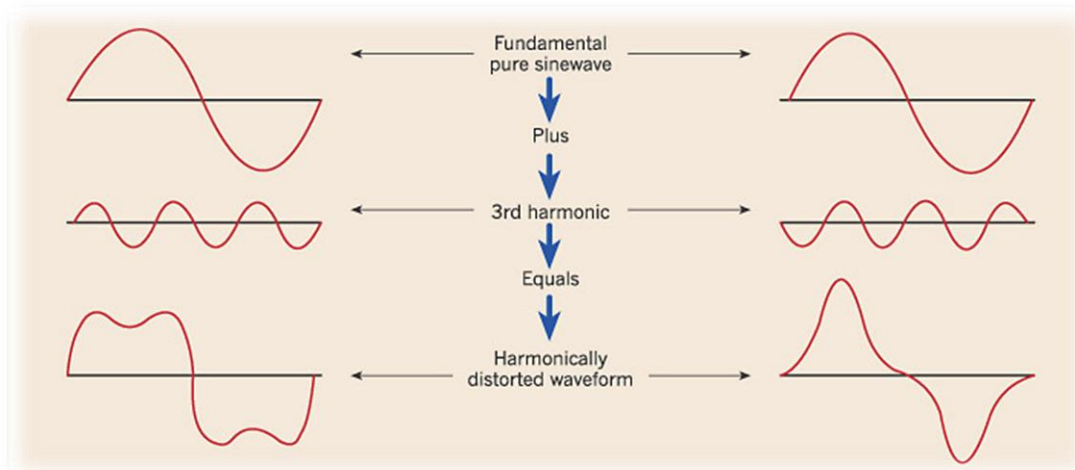
Τα παλμοτροφοδοτικά, λόγω της υψηλής ισχύος που μπορούν να φτάσουν, χρησιμοποιούνται συχνά για την εξοικονόμηση χώρου και υλικών. Σε αντίθεση με τα κοινά τροφοδοτικά χαμηλής ισχύος, τα παλμοτροφοδοτικά έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης.

Η απόδοση της τάσης επιτυγχάνεται μέσω μετασχηματιστή με πυρήνα φερρίτη, ο οποίος είτε λειτουργεί σαν αποθήκη ενέργειας με αυτεπαγωγή, είτε έχει κάποιο πηνίο για την αποθήκευση ενέργειας. Περιοδικά αποθηκεύεται τόση ενέργεια στην αυτεπαγωγή όση απαιτείται για το φορτίο. Η τάση εξόδου μετά την εξομάλυνση φιλτράρεται με πυκνωτές, ώστε να πάρουμε στην έξοδο μια συνεχή τάση.

Συνήθως πρέπει η παλμική συχνότητα να απομακρυνθεί τελείως από την τάση εξόδου (ηλεκτρομηχανολογική συμβατότητα). Η παλμική συχνότητα μεταφέρεται σε μια περιοχή με μικρότερο θόρυβο, όπου η μείωση των θορύβων αυτών επιτυγχάνεται με τη χρήση πηνίων (φίλτρα).

Τα παλμοτροφοδοτικά προκαλούν, λόγω του ανορθωτή στην είσοδο, υψηλές αρμονικές, οι οποίες θα πρέπει να εξαλειφθούν για να μην έχουμε μεγάλες απώλειες. Η αυξανόμενη χρήση παλμοτροφοδοτικών προκαλεί όλο και μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου τα οποία επηρεάζουν το δίκτυο.

Για το λόγο αυτό, τα παλμοτροφοδοτικά (ρεύμα εισόδου κάτω των 16 A) με ισχύ εισόδου πάνω από 50 με 75 W υποχρεούνται από τη 01 Ιανουαρίου 2001 να φέρουν διόρθωση του συντελεστή ισχύος P.F.C<sup>6</sup> (Νέα Ευρωπαϊκά Στάνταρ - IEC61000-3-2). Ένα παράδειγμα από τα στάνταρ με όρια τιμών δίνονται στον **Error! Reference source not found.**

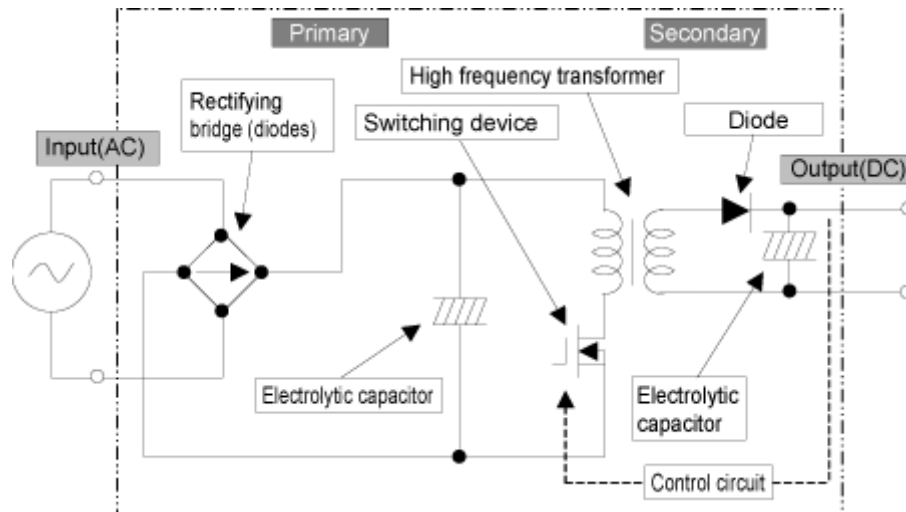


Εικόνα 2.2.1 – Παράδειγμα μιας 3<sup>ης</sup> Αρμονικής η οποία επηρεάζει σημαντικά την παραμορφωση στην τάση.

<sup>6</sup> P.F.C = Power Factor Correction

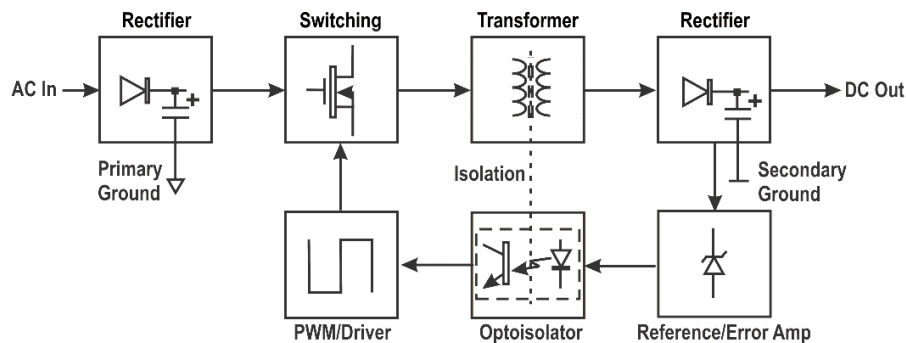


## 2.3 - Δομή κ' Λειτουργία



Εικόνα 2.3.1 – Ένα βασικό κυκλώμα με τα στοιχεία ενός τροφοδοτικού μεταγωγής.

Τα παλμοτροφοδοτικά παρέχουν σταθερή τάση και ρεύμα στην έξοδο τους. Η σταθερότητα επιτυγχάνεται με την καθοδήγηση της ροής ενέργειας στη συσκευή και τους συνδεδεμένους καταναλωτές.



Εικόνα 2.3.2 - Διάγραμμα ενός AC/DC S.M.P.S που λειτουργεί με ρυθμιστή τάσης εξόδου.

Οι παρακάτω διαδικασίες επιτυγχάνονται κατά τη λειτουργία του παλμοτροφοδοτικού.

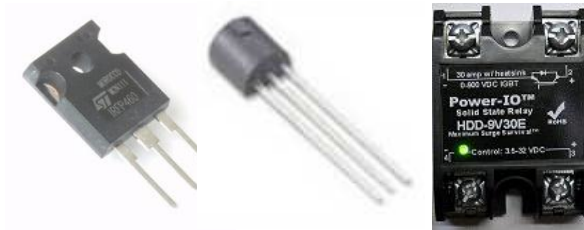
1. Ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου.
2. Εξομάλυνση της παρεχόμενης συνεχής τάσης.
3. Μετασχηματισμός της συνεχής τάσης.
4. Μετασχηματισμός της παρεχόμενης εναλλασσόμενης τάσης.
5. Ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης.
6. Βρόγχος Ελέγχου – Ευστάθεια.

Με τη βοήθεια του κυκλώματος ελέγχου (με εξαίρεση τις απώλειες του τροφοδοτικού) φροντίζουμε να εισέρθει στο παλμοτροφοδοτικό μόνο η ποσότητα της ενέργειας, η οποία θα προωθηθεί

προς την κατανάλωση. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός διαμορφωτή πλάτους παλμού (P.W.M) ή διαμορφωτή φάσης παλμού (P.P.M).

Αυτά τα παλμοτροφοδοτικά λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (15 με 300 kHz) και είναι πολύ μικρά σε μέγεθος.

Ως διακόπτες χρησιμοποιούνται τρανζίστορ (MOSFET<sup>7</sup>, Διπολικά, IGBT<sup>8</sup>) λόγο του ότι έχουν χαμηλότερο κόστος και προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, έναντι κοινών διακοπών.



Εικόνα 2.3.3 - MOSFET, Διπολικά, IGBT

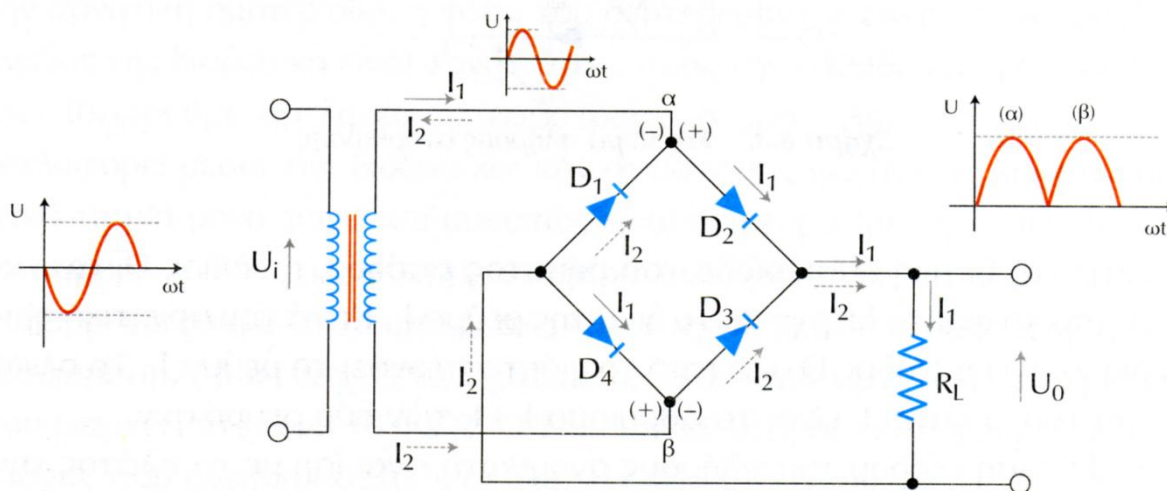
### 2.3.1 - Στάδιο Ανόρθωσης (Input Rectifier)

Εάν το παλμοτροφοδοτικό έχει εναλλασσόμενο ρεύμα ως είσοδο, τότε το πρώτο στάδιο είναι η μετατροπή του σε συνεχές το οποίο ονομάζεται ανόρθωση.

Η γέφυρα ανόρθωσης συνήθως αποτελείται από 4 διόδους που συνδέονται όπως δείχνει η Εικόνα 2.3.1.1. Όταν η τάση στο σημείο **α** είναι θετική και στο σημείο **β** αρνητική, δηλαδή στο πρώτο μισό της περιόδου, το ρεύμα  $I_1$  διέρχεται από τις διόδους  $D_2$  και  $D_4$ . Στο δεύτερο μισό της περιόδου, στο σημείο **α**, η τάση είναι αρνητική και στο σημείο **β** θετική και το ρεύμα  $I_2$  διέρχεται από τις διόδους  $D_1$  και  $D_3$ .

<sup>7</sup> MOSFET = Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

<sup>8</sup> IGBT = Insulated gate bipolar transistor



**Εικόνα 2.3.1.1 – Η εξέλιξη στη μορφή της τάσης από την είσοδο του μετασχηματιστή μέχρι την έξοδο της από την γέφυρα ανόρθωσης.**

Η γέφυρα ανόρθωσης ως εξάρτημα διαθέτει 2 πόδια για την είσοδο της εναλλασσόμενης τάσης 12V (διακρίνονται από το σύμβολο ~) και 2 πόδια εξόδου της συνεχούς τάσης που φέρουν τα χαρακτηριστικά (+) και (-).

Ο ανορθωτής παράγει ένα «αρρυθμιστο» συνεχές ρεύμα το οποίο, στη συνέχεια, στέλνεται σε ένα φίλτρο μεγάλης χωρητικότητας. Το ρεύμα που διέρχεται από την κεντρική παροχή, μέσω του κυκλώματος ανόρθωσης, εμφανίζεται με σύντομους παλμούς γύρω από τα υψηλά του εναλλασσομένου.

Αυτοί οι παλμοί έχουν ενέργεια εξαιρετικά υψηλής συχνότητας, η οποία μειώνει το συντελεστή ισχύος. Ειδικές τεχνικές ελέγχου μπορούν να αναπτυχθούν από επόμενα S.M.P.S, ώστε να έχουμε τον μέσο όρο του ρεύματος εισόδου να ακολουθεί την ημιτονοειδή καμπύλη της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο σχεδιαστής να μπορεί να διορθώσει το συντελεστή ισχύος.

Αν χρησιμοποιούμε διακόπτες εύρους διακύμανσης, τότε η ανόρθωση μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να δουλεύει ως διπλασιαστής τάσης (π.χ. 120V A.C) ή ως ένας ευθύς ανορθωτής όταν λειτουργεί στα 240V A.C. Εάν δεν χρησιμοποιείται ένας διακόπτης εύρους διακύμανσης, τότε χρησιμοποιείται ένας ανορθωτής πλήρους κύματος. Έτσι, το επόμενο στάδιο αντιστροφής σχεδιάζεται ώστε να είναι ευέλικτο να δέχεται τάσεις συνεχούς ρεύματος μεγάλου εύρους που παράγει το κύκλωμα ανόρθωσης.

### 2.3.2 - Στάδιο Αντιστροφής (Inverter Stage)

Το στάδιο αντιστροφής μετατρέπει το συνεχές ρεύμα, το οποίο προέρχεται από την είσοδο ή από το στάδιο της ανόρθωσης, σε εναλλασσόμενο ρεύμα διερχόμενο μέσα από ένα ταλαντωτή

ισχύος, του οποίου ο μετασχηματιστής εξόδου είναι πολύ μικρός με λίγα τυλίγματα συχνότητας δεκάδων ή εκατοντάδων kilo-Hz. Η συχνότητα συνήθως επιλέγεται να είναι υψηλότερη των 20kHz ώστε να είναι αθόρυβο για τους ανθρώπους.

Η τάση εξόδου είναι οπτικά συνδεδεμένη με την είσοδο και αυστηρά ελεγχόμενη. Η αλλαγή αυτή εφαρμόζεται σε πολυσταδιακό (για να επιτευχθεί υψηλό κέρδος) ενισχυτή MOSFET. MOSFETs είναι ένα είδος τρανζίστορ με χαμηλή αντίσταση λειτουργίας και με υψηλή χωρητικότητα στο χειρισμό ρεύματος.

### 2.3.3 - Στάδιο Μετατροπής της Τάσης Και Ανόρθωση Εξόδου

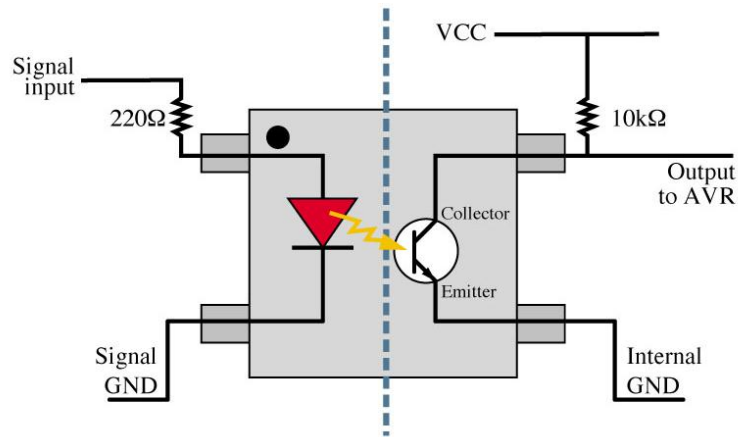
Εάν η έξοδος απαιτείται να είναι απομονωμένη από την είσοδο, όπως συνηθίζεται, το αντιστραμμένο εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται για την οδήγηση του πρωτεύοντος τυλίγματος ενός μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας. Αυτό μετατρέπει την τάση, πάνω ή κάτω, στην απαιτούμενη έξοδο του δευτερεύοντος τυλίγματος.

Εάν απαιτείται συνεχές ρεύμα στην έξοδο, τότε το εναλλασσόμενο ρεύμα ανορθώνεται από το μετασχηματιστή. Για τάσεις εξόδου πάνω από 10V χρησιμοποιούνται συνηθισμένες δίοδοι πυριτίου. Για χαμηλότερες τάσεις χρησιμοποιούνται δίοδοι Schottky ως στοιχεία ανόρθωσης. Οι δίοδοι αυτοί έχουν το πλεονέκτημα μικρότερου χρόνου απόκρισης από ότι η συνήθης (επιτρέποντας λειτουργία μικρότερων απωλειών σε υψηλές συχνότητες) μικρότερη πτώση της τάσης. Για ακόμα χαμηλότερες τάσεις εξόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δίοδοι MOSFET ως σύγχρονοι ανορθωτές. Εν συγκρίσει με τις διόδους Schottky, οι δίοδοι MOSFET έχουν ακόμα χαμηλότερη πτώση τάσης.



**Εικόνα 2.3.3.1 - Αριστερά Δίοδος Schottky, δεξιά MOSFET.**

Η ανορθωμένη έξοδος εξομαλύνεται μέσω ενός φίλτρου από επαγωγικά πηνία και πυκνωτές. Για υψηλότερες συχνότητες μεταγωγής είναι απαραίτητα στοιχεία με μικρότερη χωρητικότητα και επαγωγή.

2.3.4 - Ρυθμίσεις

Εικόνα 2.3.4.1 - Κύκλωμα οπτοζεύκτη.

Ένα κύκλωμα ανάδρασης παρακολουθεί την τάση εξόδου, η οποία και συγκρίνεται με μία τάση αναφοράς. Αναλόγως με τις απαιτήσεις σχεδιασμού και ασφάλειας, ο ελεγκτής μπορεί να περιέχει ή όχι έναν μηχανισμό (όπως οπτοζεύκτες / opto-couplers) για την απομόνωση συνεχούς ρεύματος από την έξοδο. Παλμοτροφοδοτικά σε υπολογιστές, τηλεοράσεις και βίντεο έχουν οπτοζεύκτες για να ελέγχουν αυστηρά την τάση εξόδου.

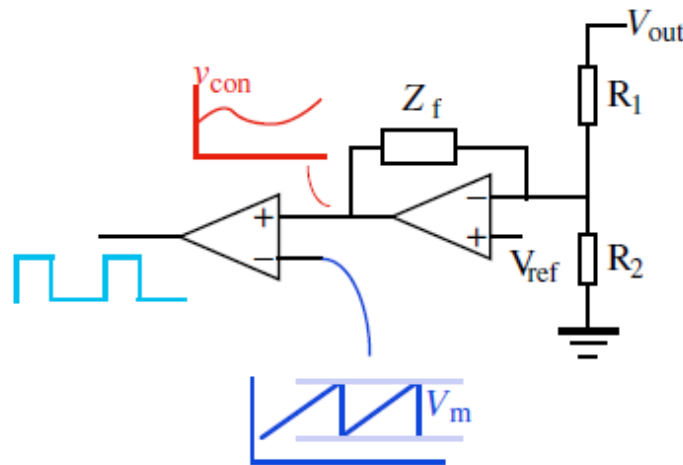
Το κύκλωμα ανάδρασης χρειάζεται ισχύ για να λειτουργήσει πριν να παραχθεί ενέργεια. Έτσι, ένα πρόσθετο τροφοδοτικό ισχύος, άνευ μεταγωγής, συνδέεται σε αυτό.

Οι ρυθμιστές ανοιχτού βρόγχου δεν έχουν κύκλωμα ανάδρασης. Αντί για αυτό, βασίζονται στη τροφοδοσία σταθερής τάσης στην είσοδο του μετασχηματιστή ή του μεταγωγικού πηνίου και υποθέτουμε ότι η έξοδος είναι σωστή.

## 2.4 - Τεχνικές Ελέγχου

Ο κύκλος λειτουργίας πρέπει να ελέγχεται, εάν θέλουμε να έχουμε μια δυναμική συμπεριφορά διαφορετική της φυσικής. Υπάρχουν 2 συνήθειες προσεγγίσεις της τεχνικής ελέγχου ενός παλμοτροφοδοτικού, ο «Έλεγχος τάσης (Voltage Mode)» και ο «Έλεγχος ρεύματος (Current-Mode)».

### 2.4.1 - Έλεγχος βάση της Τάσης

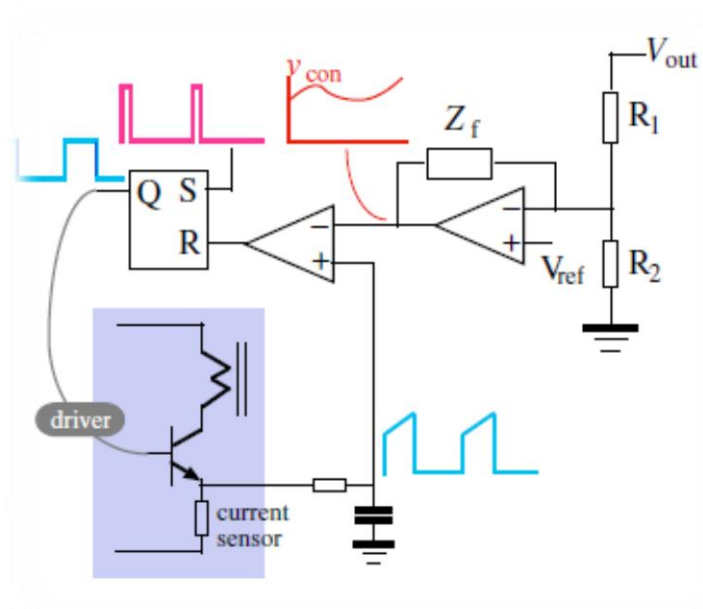


Εικόνα 2.4.1.1 - Ένα τυπικό κύκλωμα «Έλεγχου Τάσης» με ανάδραση.

Η πρώτη προσέγγιση που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο της τάσης στα S.M.P.S ονομαζόταν «Έλεγχος τάσης (Voltage Mode)».

Ο Voltage Mode λειτουργεί με πρόβλεψη, όπου η πραγματική τάση εξόδου συγκρίνεται με την επιθυμητή και η διαφορά τους (error) χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τον κύκλο λειτουργίας του P.W.M, όπου η τάση του ελέγχεται διαμέσου του πηνίου.

Το μειονέκτημα του «Voltage mode» είναι ότι δεν προσφέρει τον έλεγχο της τάσης των κύκλων στα τρανζίστορ. Αυτή η έλλειψη επηρεάζει την ισορροπημένη ροή στον μετασχηματιστή (συνήθως, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, προστίθενται περισσότερα στοιχεία στο κύκλωμα).

2.4.2 - Έλεγχος βάση του Ρεύματος

Εικόνα 2.4.2.1 - Ένα τυπικό κύκλωμα «Έλεγχου Ρεύματος» με ανάδραση.

Αργότερα, αναπτύχθηκε ο μηχανισμός «Έλεγχος ρεύματος (Current-Mode)» για να διορθώσει διάφορα θέματα που ανέκυψαν από την τεχνική «Voltage Mode». Η τεχνική «Current-Mode» χρησιμοποιεί το σφάλμα (error) μεταξύ της τάσης εξόδου και της επιθυμητής τάσης και ελέγχει το peak του ρεύματος στο πηνίο.

Το μειονέκτημα του έλεγχου «Current mode» είναι ότι χρειάζονται δυο αναδράσεις (Feedback paths), πράγμα το οποίο ανεβάζει το κόστος και την πολυπλοκότητα.

## 2.5 - Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα

### 2.5.1 – Πλεονεκτήματα έναντι κοινών τροφοδοτικών

Το κύριο πλεονέκτημα των παλμοτροφοδοτικών είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσής τους. Οι τιμές κυμαίνονται συνήθως πάνω από 90%, ακόμα και εάν η ονομαστική τάση είναι μικρή και τα φορτία είναι κυμαινόμενα. Αυτό γίνεται διότι οι transistors εκπέμπουν πολύ μικρή ποσότητα θερμότητας. Επίσης, από οικονομικής πλευράς, τα παλμοτροφοδοτικά είναι οικονομικότερα σε σύγκριση με κοινά τροφοδοτικά, λόγω ελάχιστης χρήσης χαλκού.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι το βάρος και ο όγκος. Λόγω του ότι το παλμοτροφοδοτικό λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες (50Hz - 1MHz), αυτό συνεπάγεται ελαφρύτερους και μακρότερους μετασχηματιστές, πράγμα το οποίο οδηγεί στο να είναι πολύ ελαφρύτερο από τα κοινά τροφοδοτικά χαμηλών συχνοτήτων (50/60 Hz).

Η τάση εξόδου είναι καλά ρυθμισμένη και ελεγχόμενη από τους κύκλους λειτουργίας και οι ωμικές απώλειες είναι ελάχιστες επειδή οι transistors είναι πλήρως on ή off κατά τη διάρκεια της μεταγωγής.

### 2.5.2 – Μειονεκτήματα έναντι κοινών τροφοδοτικών

Το κύριο μειονέκτημα τους είναι η πολυπλοκότητα. Λόγω της λειτουργίας τους σε υψηλές συχνότητες, απαιτείται φίλτρο low-pass το οποίο θα εξαλείφει τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι παρεμβολές αυτές επηρεάζουν κυρίως τον εξοπλισμό Εικόνας/Ήχου λόγω των παλμοτροφοδοτικών χαμηλού κόστους.

Ένα άλλο μειονέκτημα τους είναι οι αρμονικές παρεμβολές οι οποίες δημιουργούνται στο ηλεκτρικό δίκτυο εάν το παλμοτροφοδοτικό δεν είναι σχεδιασμένο με P.F.C. Τα συνεχή ON-OFF των S.C.R<sup>9</sup> στους μετατροπείς συχνότητας δημιουργούν αρμονικές κυματομορφές τάσης. Αυτές είναι παραμορφωμένες πρόσθετες κυματομορφές, που εμφανίζονται στο δίκτυο όπου υπάρχουν οι converters. Έχουμε π.χ. 5η, 7η, 11η, 13η, 17η, 19η κ.λ.π. αρμονική. Η 5η αρμονική έχει συχνότητα  $5 \times 60 = 300\text{Hz}$  και πλάτος  $\frac{\text{Τάση δικτύου}}{5}$ . Δηλαδή, όσο υψηλότερη είναι η αρμονική, τόσο μεγαλύτερη η συχνότητά της και (ευτυχώς) τόσο μικρότερο το πλάτος της. Οι αρμονικές αυτές αυξάνουν τη συνολική ροή ρεύματος στις γραμμές και το επί πλέον ρεύμα προκαλεί αυξημένες απώλειες και θέρμανση στα εξαρτήματα του συστήματος ισχύος.

---

<sup>9</sup> S.C.R = Silicon Control Rectifiers



Επίσης, ο κίνδυνος να τεθεί εκτός λειτουργίας είναι μεγαλύτερος, επειδή τα δομικά στοιχεία είναι περισσότερα.

## 2.6 - Εφαρμογές Και Μελλοντικές Τάσεις

### 2.6.1 - Εφαρμογές

Τα παλμοτροφοδοτικά έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Κάποια από αυτά είναι:

Βιομηχανικά εργαλεία, βιομηχανία αυτοκινήτων και αεροσκαφών, ηλεκτρικές συσκευές ήχου και εικόνας, παροχή ισχύος στα PLC's, συστήματα ασφάλειας (Κλειστό κύκλωμα παρακολούθησης), τροφοδοτικά Η/Υ και οθόνης, εκτυπωτές και τηλεοράσεις, φορτιστές κινητών τηλεφώνων και φορητών Η/Υ, ηλεκτρονικοί Μ/Σ για λυχνίες αλογόνου χαμηλής κατανάλωσης, ηλεκτροσυγκολλήσεις, φορτιστές συσσωρευτών, τροφοδοσία λαμπτήρων κ.α.

#### 2.6.1.1 - Βιομηχανία

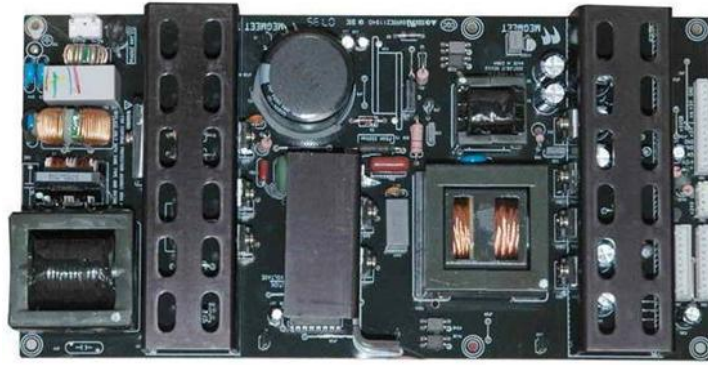
Στην βιομηχανία χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται παροχή D.C. με μειωμένο θόρυβο και χωρίς παρεμβολές με την ταυτόχρονη χρήση συσσωρευτών.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία όπου τα φορτηγά χρησιμοποιούν 24V D.C ή 12V D.C ισχύ και τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν 12V D.C για τον εξοπλισμό τους.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται στα

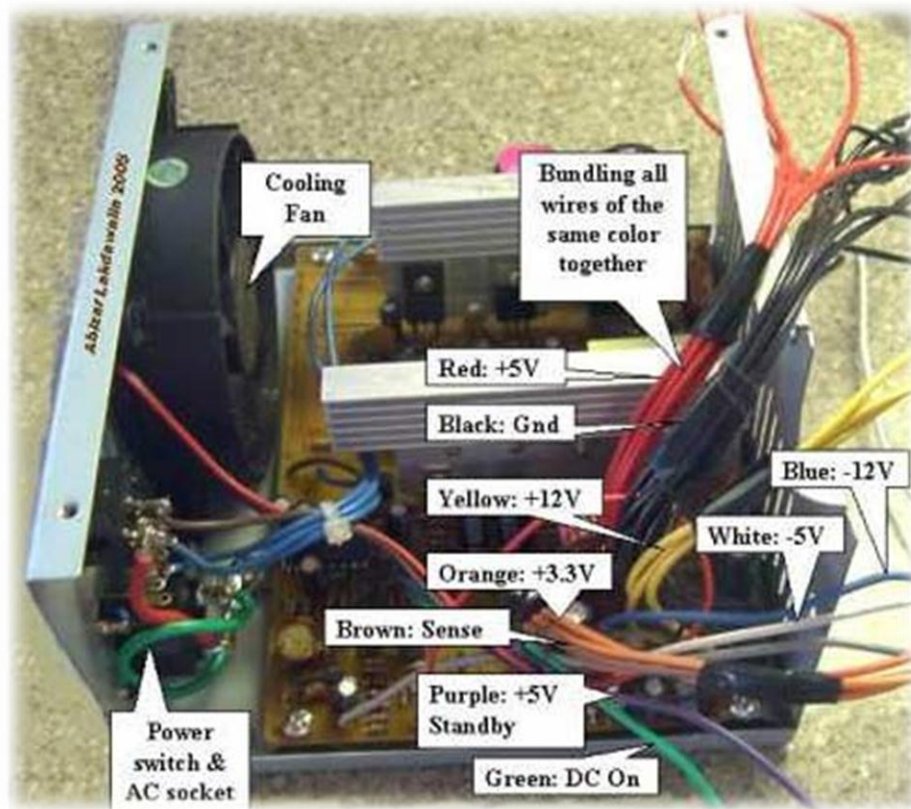
- Μικρά αεροπλάνα με τάση 28V D.C ή μεγαλύτερα (όπως BOEING 747), τα οποία συχνά χρησιμοποιούν 3φασικό 200V A.C 400Hz με έως και 90kV έχοντας ένα δίαυλο D.C.
- Μαχητικά τύπου F-16 χρησιμοποιούν 400Hz ισχύ.
- Ελικόπτερα με σύστημα ισχύος 28V D.C.
- Υποβρύχια (όπως τα Ρωσικά Alfa class) χρησιμοποιούν δύο σύγχρονες γεννήτριες οι οποίες παρέχουν μεταβλητό 3φασικό ρεύμα 2 X 1500KW , 400V, 400Hz.
- Διαστημικά λεωφορεία χρησιμοποιούν τρεις κυψέλες καυσίμου που παράγουν 30 με 36V D.C το οποίο μετατρέπεται μερικώς σε 400Hz A.C και 20V D.C ισχύ.
- Διεθνής διαστημικός σταθμός με 120V D.C. ισχύ.

### 2.6.1.2 - Τηλεοράσεις



**Εικόνα 2.6.1.2.1 - LCD T.V. Power Supply (MLT199TL)**

Στις περιπτώσεις των τηλεοράσεων, μια πολύ καλή ρύθμιση μπορεί να γίνει με τη χρήση αυτομετασχηματιστών (vari A.C). Για παράδειγμα, σε μερικά μοντέλα της Philips, η παροχή ισχύος ξεκινάει όταν η τάση φτάσει τα 90V. Από εκεί κάποιος μπορεί να αλλάξει την τάση με ένα αυτομετασχηματιστή και να την υποβαθμίσει στα 40V ή ακόμα και να την υψώσει στα 260V (με υψηλό άκρο τα  $260 \times \sqrt{2} - 360V$  p-p), ώστε η εικόνα να δείχνει απολύτως αμετάβλητη.

2.6.1.4 - Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές

Εικόνα 2.6.1.4.1 – Ένα κοινό τροφοδοτικό ενός Η/Υ.

Εάν υπάρχει κάποιο στοιχείο ζωτικής σημασίας του Η/Υ, αυτό είναι το τροφοδοτικό. Χωρίς αυτό, ο Η/Υ είναι ένα αδρανές κουτί γεμάτο από πλαστικά και μέταλλα. Το τροφοδοτικό μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) της γραμμής του σπιτιού σε συνεχές (DC).

Τα τροφοδοτικά, που συχνά αναφέρονται και ως "Τροφοδοτικά μεταγωγής (Switching Power Supplies)", χρησιμοποιούν την τεχνολογία "Switcher" για να μετατρέψουν το εναλλασσόμενο ρεύμα (A.C.) σε συνεχές (D.C.) χαμηλότερης τάσης. Οι συνηθέστερες παρεχόμενες τάσεις είναι:

- 3.3 V
- 5 V
- 12 V

Τα 3.3 και 5 Volts χρησιμοποιούνται συνήθως για τα ψηφιακά κυκλώματα, ενώ τα 12 Volts χρησιμοποιούνται για την κίνηση των ανεμιστήρων και των σκληρών δίσκων. Η ισχύς των τροφοδοτικών μετριέται σε Watt (W) και το Watt είναι προϊόν της Τάσης (Volts) και του ρεύματος (Ampers).

Παλιότερα, οι Η/Υ είχαν μεγάλους κόκκινους διακόπτες με λαβή για την ενεργοποίηση τους. Αυτοί οι διακόπτες ελέγχανε την ροή των 120/240 Volts ρεύματος στην παροχή. Σήμερα

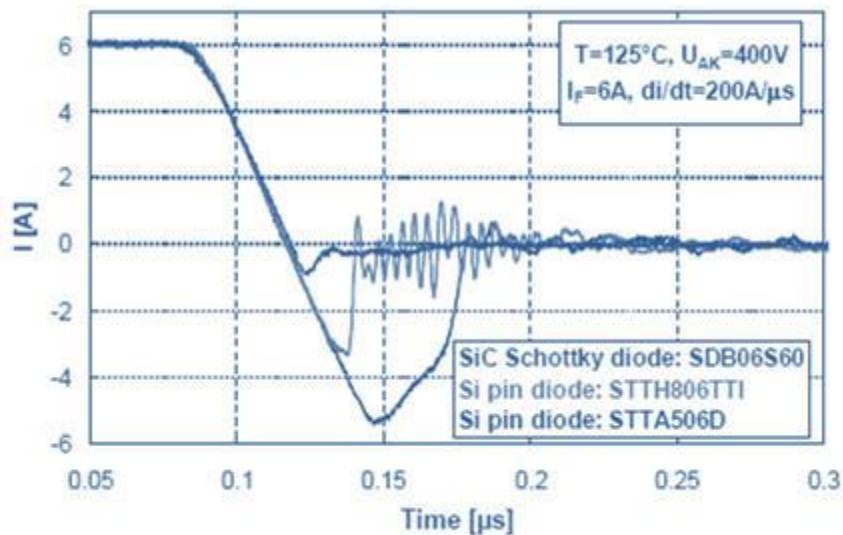
μπορείς να θέσεις σε λειτουργία τον Η/Υ πιέζοντας ένα μικρό κουμπί και, προκειμένου να το απενεργοποιήσεις, το επιλέγεις από το menu. Αυτή η δυνατότητα έχει προστεθεί πριν μερικά χρόνια. Το λειτουργικό σύστημα μπορεί να στείλει σήμα στο τροφοδοτικό για να του "πει" να απενεργοποιηθεί και το κουμπί στέλνει σήμα των 5 Volts για να το ενεργοποιήσει. Το τροφοδοτικό έχει επίσης ένα κύκλωμα των 5 Volts για την λειτουργία των κουμπιών που ονομάζεται V.S.B.<sup>10</sup> και χρησιμοποιείται για την "Τάση Αναμονής", ακόμα και εάν είναι επίσημα "off".

### 2.6.2 - Μελλοντικές Τάσεις

Το μέλλον των παλμοτροφοδοτικών έχει ως στόχο να τα κάνει πιο αποδοτικά, πράγμα το οποίο συνεπάγεται καλύτερη μετατροπή, κάνοντας πιο αποδοτική την διαδικασία. Ο στόχος των σχεδιαστών συμπεριλαμβάνει:

- Μεγαλύτερη ισχύ στην έξοδο.
- Επίτευξη μεγαλύτερης έντασης του ρεύματος και χαμηλή τάση στην έξοδο.
- Χρησιμοποίηση συσκευών μεταγωγής, όπως οι δίοδοι Schottky.

Οι δίοδοι SiC Schottky<sup>11</sup> μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενεργή συσκευή στη θέση των transistor υψηλής συχνότητας μεταγωγής. Οι δίοδοι αυτοί αποτελούν σημείο αναφοράς στα 300 V – 600 V εύρους λειτουργίας. Τα χαρακτηριστικά της μεταγωγής μιας διόδου Schottky απεικονίζονται παρακάτω.



Εικόνα 2.6.2.1 - Χαρακτηριστικά της μεταγωγής διόδου Schottky.

<sup>10</sup> V.S.B. = Voltage Stand-By

<sup>11</sup> SiC Schottky = Silicon Carbide Schottky

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά δύο σύγχρονων τεχνολογιών που αφορούν στον έλεγχο και στην μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος και οι οποίες βασίζονται στην διακοπτική λειτουργία ενός κυκλώματος το οποίο παρεμβάλλεται ανάμεσα στην τροφοδοσία και την κατανάλωση.

Παρουσιάστηκε η τεχνολογία P.W.M (Pulse Width Modulation), μία τεχνολογία πολύ ευρέως διαδεδομένη η οποία προσφέρει υψηλή απόδοση στον έλεγχο της ηλεκτρικής ισχύος και η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (D.C) σε εναλλασσόμενο (A.C) (λειτουργία σαν αντιστροφέας-inverter) ή κατά την μετατροπή ενός συνεχούς ρεύματος σε συνεχές μιας άλλης επιθυμητής τάσης ή έντασης του ρεύματος. Επιπροσθέτως είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται και σε άλλες εφαρμογές όπως η μετάδοση δεδομένων στις τηλεπικοινωνίες.

Η δεύτερη τεχνολογία που παρουσιάστηκε είναι το Switching που δίνει την δυνατότητα της μετατροπής ενός ρεύματος εναλλασσομένου σε συνεχές μέσω μιας ενδιάμεσης βαθμίδας παραγωγής A.C υψηλής συχνότητας προκειμένου αυτό να μετασχηματιστεί και να ξαναμετατραπεί σε D.C. Παρέχει κυρίως τα πλεονεκτήματα του πολύ μικρού όγκου και της υψηλής απόδοσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barr, M. (n.d.). *Introduction to P.W.M.* Ανάκτηση από Barr Group's:  
<http://www.netrino.com/Embedded-Systems/How-To/PWM-Pulse-Width-Modulation>
- Callahan, R. (n.d.). *Uses of Inverters.* Ανάκτηση από LIVESTRONG.COM:  
<http://www.livestrong.com/article/139117-uses-inverters/>
- *Grid-tie inverter.* (n.d.). Ανάκτηση από Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Grid-tie\\_inverter](http://en.wikipedia.org/wiki/Grid-tie_inverter)
- Inc., M. T. (n.d.). *Introduction to SMPS Control Techniques.* Ανάκτηση από Microchip:  
[http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm\\_sg/documents/Training\\_Tutorials/en527885.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/Training_Tutorials/en527885.pdf)
- *Inverters.* (n.d.). Ανάκτηση από Wikipedia:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Inverter\\_%28electrical%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Inverter_%28electrical%29)
- Lazaridis, G. (n.d.). *PWM Modulation.* Ανάκτηση από PCB Heaven:  
[http://pcbheaven.com/wikipages/PWM\\_Modulation/](http://pcbheaven.com/wikipages/PWM_Modulation/)
- Mohankumar, D. (n.d.). *Introduction to SMPS.* Ανάκτηση από EngineersGarage:  
<http://www.engineersgarage.com/contribution/what-is-smps>
- Najadifar, E. (n.d.). *Harmonics.* Ανάκτηση από insights:  
<http://insights.eypaedesign.com/articles/harmonics-not-always-music-to-your-ears-3/>
- *P.W.M.* (n.d.). Ανάκτηση από Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)
- *Power supply encyclopedia.* (n.d.). Ανάκτηση από Nipron - ATX Power Supplies:  
[https://www.nipron.co.jp/english/product\\_info/search\\_power\\_cyclopedia2\\_1.html](https://www.nipron.co.jp/english/product_info/search_power_cyclopedia2_1.html)
- *S.M.P.S.* (n.d.). Ανάκτηση από Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode\\_power\\_supply](http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode_power_supply)
- Torres, G. (n.d.). *Anatomy of Switching Power Supplies.* Ανάκτηση από Hardware Secrets:  
<http://www.hardwaresecrets.com/article/327>
- Tse, M. (n.d.). *Switch Mode Power Supplies.* Ανάκτηση από  
<http://cktse.eie.polyu.edu.hk/NSR/presentation/SMPS-lecture-1.pdf>

- *Εικόνες - Bing*. (n.d.). Ανάκτηση από Bing:  
<http://www.bing.com/?scope=images&FORM=Z9LH>
- *Εικόνες - Google*. (n.d.). Ανάκτηση από Google:  
<http://www.google.com/imghp?hl=en&tab=wi>
- *Ηλεκτρικό ρεύμα*. (n.d.). Ανάκτηση από Βικιπαίδεια:  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CF%81%CE%B5%CF%8D%CE%BC%CE%B1](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%81%CE%B5%CF%8D%CE%BC%CE%B1)
- Φλώρου, Α. (n.d.). *Διαμόρφωση Ηχητικών Σημάτων Κατά P.W.M Για Υλοποίηση*. Ανάκτηση από <http://www.ionio.gr/~floros/pubs/FlorosPhD.pdf>



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Περίληψη</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Πρόλογος</b> .....	<b>5</b>
<b>Εισαγωγή - Ηλεκτρικό Ρεύμα</b> .....	<b>6</b>
<b>0.1 - Είδη Ηλεκτρικού Ρεύματος</b> .....	<b>7</b>
0.1.1 - Συνεχές Ρεύμα.....	7
0.1.2 - Εναλλασσόμενο Ρεύμα .....	7
<b>0.2 - Μετατροπή Εναλλασσόμενου Ρεύματος Σε Συνεχές (Rectifier)</b> .....	<b>8</b>
<b>0.3 - Μετατροπή Συνεχούς Ρεύματος Σε Εναλλασσόμενο (Inverter)</b> .....	<b>10</b>
0.3.1 – Είδη Κυμάτων.....	10
0.3.1.1 - Square Wave Inverters .....	10
0.3.1.2 - Modified Sine Wave Inverter .....	11
0.3.1.3 - Pure Sine Wave .....	12
0.3.1.4 - Grid Tie Inverter (Synchronous Inverter) .....	12
0.3.2 - Εφαρμογές.....	13
0.3.2.1 - Γενικές Εφαρμογές .....	13
0.3.2.2 - Εφεδρικά Τροφοδοτικά .....	13
0.3.2.3 - Inverters στα Αυτοκίνητα .....	14
0.3.2.4 - Inverters στα Κλιματιστικά .....	15
0.3.2.5 - Inverters σε Συστήματα Ηλιακής Ενέργειας.....	15
0.3.2.6 - Μεταφορά Ισχύος Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος.....	16
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> - Τεχνολογία P.W.M</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 - Ο Ψηφιακός Έλεγχος</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2 - Ελεγκτές</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3 - Επικοινωνία και Έλεγχος των Κυκλωμάτων</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4 - Τρόπος Διαμόρφωσης</b> .....	<b>22</b>
1.4.1 - Αρχή .....	23
1.4.1.1 - Είδη P.W.M Διαμόρφωσης.....	26
1.4.1.1.1- Φάσμα .....	27
1.4.1.2 - Δέλτα (Delta).....	27
1.4.1.3 - Δέλτα-Σίγμα (Delta-Sigma) .....	28

1.4.1.4 - Ψηφιακά.....	28
1.4.1.5 - Μέθοδος H.I.P.W.M.....	29
<b>1.5 - Εφαρμογές .....</b>	<b>31</b>
1.5.1 - Παροχής Ισχύος και ο Έλεγχος τους.....	31
1.5.2 - Μετάδοση Σήματος.....	33
1.5.2.1 - Μετάδοση Ψηφιακού Σήματος.....	33
1.5.2.2 - Μετάδοση Αναλογικού Σήματος .....	34
1.5.3 - Τηλεπικοινωνίες.....	34
1.5.4 - Ήχος και Ενισχυτές .....	35
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> - Τεχνολογία Switching .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1 - Τεχνικό Υπόβαθρο.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2 - Χρήσεις Και Ιδιότητες .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 - Δομή κ' Λειτουργία .....</b>	<b>40</b>
2.3.1 - Στάδιο Ανόρθωσης (Input Rectifier) .....	41
2.3.2 - Στάδιο Αντιστροφής (Inverter Stage).....	42
2.3.3 - Στάδιο Μετατροπής της Τάσης Και Ανόρθωση Εξόδου.....	43
2.3.4 - Ρυθμίσεις .....	44
<b>2.4 - Τεχνικές Ελέγχου .....</b>	<b>45</b>
2.4.1 - Έλεγχος βάση της Τάσης.....	45
2.4.2 - Έλεγχος βάση του Ρεύματος.....	46
<b>2.5 - Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα.....</b>	<b>47</b>
2.5.1 – Πλεονεκτήματα έναντι κοινών τροφοδοτικών.....	47
2.5.2 – Μειονεκτήματα έναντι κοινών τροφοδοτικών .....	47
<b>2.6 - Εφαρμογές Και Μελλοντικές Τάσεις.....</b>	<b>49</b>
2.6.1 - Εφαρμογές.....	49
2.6.1.1 - Βιομηχανία .....	49
2.6.1.2 - Τηλεοράσεις.....	50
2.6.1.4 - Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές.....	51
2.6.2 - Μελλοντικές Τάσεις.....	52
<b>Επίλογος - Συμπεράσματα .....</b>	<b>53</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>54</b>
<b>Περιεχόμενα.....</b>	<b>56</b>