



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ CSC**

Πτυχιακή εργασία των

Χριστίνα Παντελίδου & Ζωή Χασιώτη

Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Καλπακτσόγλου

ΣΕΡΡΕΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015

Περίληψη

Οι κλιματικές συνθήκες στη Γη καθορίζονται από μια συνεχή ροή ενέργειας από τον ήλιο. Η θερμική ενέργεια του ήλιου, διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης και θερμαίνει την επιφάνεια της. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία της επιφάνειας, η Γη στέλνει, υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, θερμική ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας απορροφάται από αέρια (τα λεγόμενα ‘αέρια του θερμοκηπίου’), όπως το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί, παγιδεύοντας έτσι την ενέργεια και διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης στους περίπου 15°C. Αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ζωής για ανθρώπους, φυτά και ζώα. Δίχως αυτά τα αέρια, η θερμοκρασία της Γης θα έφτανε στους -18°C, ‘παγώνοντας’ τις περισσότερες μορφές ζωής.

Η ανθρώπινη παρέμβαση στον φυσικό κύκλο του CO₂ τα τελευταία 150 χρόνια έχει υπάρξει καθοριστική. Η απερίσκεπτη καύση ορυκτών καυσίμων αλλά και οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες που συμβάλουν στην εκπομπή μεθανίου, σε συνδυασμό με την αποψίλωση των δασών τα οποία απορροφούν τα αέρια του θερμοκηπίου, έχουν διαταράξει ανεπανόρθωτα τις ισορροπίες στον κύκλο του CO₂. Αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Με αυτό τον τρόπο η ‘κουβέρτα’ των αερίων του θερμοκηπίου που καλύπτει τη Γη συγκρατεί ολοένα και περισσότερη ενέργεια η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Για αυτό το λόγο ξεκίνησε η προσπάθεια για την εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Το ενδιαφέρον στράφηκε στο περιβάλλον που μπορούσε να ικανοποιήσει με ευκολία τις ανθρώπινες ενεργειακές απαιτήσεις μέσω των λεγόμενων ΑΠΕ, δηλαδή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα είδη αυτών είναι τα εξής: α) Αιολική ενέργεια , β) Ηλιακή ενέργεια , γ) Υδραυλική ενέργεια , δ) Βιομάζα , ε) Γεωθερμική ενέργεια , ζ) Ωσμωτική ενέργεια και η) Κυματική ενέργεια με την οποία θα ασχοληθούμε και παρακάτω.

Στην πτυχιακή μας μελέτη μελετάμε μια περίπτωση μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η διαδικασία εξελίσσεται ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο έχουμε τρόπο δημιουργίας της κυματικής ενέργειας, τους τρόπους εκμετάλλευσης της και τα

συστήματα μετατροπής κυματικής ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζουμε τον τα οφέλη της, και αναλυτικά τις τρεις διαδρομές που ακολουθούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε τους υπεράκτιους μετατροπείς ενέργειας. Στο τέταρτο κεφάλαιο βλέπουμε τη δομή ,την ταχύτητα περιστροφής, την παραγομένη τάση, το ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας και την παράλληλη λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατηρούμε τα ηλεκτρονικά στοιχεία ισχύος, τα βασικά κυκλώματα ανορθωτών, τους κυκλομετατροπείς, το πηνίο, ο πυκνωτής και η τεχνική βελτίωσης του συντελεστή ισχύος. Στο έκτο κεφάλαιο έχουμε τους νόμους του Ohm στο εναλλασσόμενο ρεύμα, τους απλούς καταναλωτές και τα κυκλώματα αυτών. Στο έβδομο κεφάλαιο έχουμε προσομοιώσεις και αποτελέσματα .

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
1 Εισαγωγή	7
1.1 Που εμφανίζονται τα θαλάσσια κύματα	8
1.2 Τρόποι εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας γενικότερα.....	10
1.3 Παρουσίαση Συστημάτων Μετατροπής Κυματικής Ενέργειας Σε Ηλεκτρική Ενέργεια	12
2 Η κυματική ενέργεια.....	14
2.1 Οφέλη.....	14
2.2 Ανασκόπηση της μετατροπής κυματικής ενέργειας	14
2.2.1 Αναλυτικά η πρώτη:	15
2.2.2 Αναλυτικά η δεύτερη:.....	15
2.2.3 Αναλυτικά η τρίτη:	15
3 Υπεράκτιοι μετατροπείς κυματικής ενέργειας.....	16
3.1 The McCabe Wave Pump.	16
3.2 The OPT WEC:	16
3.3 The Pellamis.....	17
3.4 The Archimedes Wave Swing.....	17
3.5 The Mighty Whale	18
3.6 Salter Duck:.....	19
3.7 Wave Dragon:	19
3.8 Το σύστημα Swan DK3:	20
3.9 AquaBuOY:.....	20
3.10 Crestwing:.....	20
3.11 PowerBuoy:	21
3.12 SeaRaser:	21
3.13 Wavepiston:.....	22

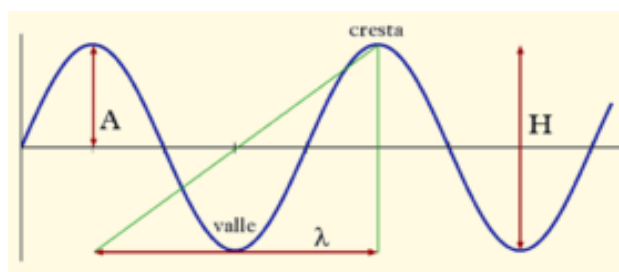
3.14	Dexawave:	22
3.15	Προοπτικές υλοποίησης τέτοιων συστημάτων στην Ευρώπη και την Ελλάδα	24
3.16	Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουμε τις παρακάτω αναφορές:.....	25
4	Σύγχρονες γεννήτριες	27
4.1	Δομή των σύγχρονων γεννητριών	27
4.2	Ταχύτητα περιστροφής των σύγχρονων γεννητριών:	30
4.3	Παραγόμενη τάση στο εσωτερικό μίας σύγχρονης γεννήτριας:	31
4.4	Ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας.....	31
4.5	Συνδεσμολογία γεννητριών για παραγωγή της μέγιστης δυνατής ηλεκτρικής ενέργειας	34
4.5.1	Παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών	34
5	Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος.....	36
5.1	Τα ηλεκτρονικά στοιχεία ισχύος	36
5.1.1	Η δίοδος	36
5.1.2	Thyristor Τριών Επαφών ή Ελεγχόμενος Ανορθωτής Πυριτίου (SCR)	38
5.1.3	Transistor ισχύος.....	40
5.1.4	Διπολικό Transistor Απομονωμένης Πύλης	42
5.2	Βασικά κυκλώματα ανορθωτών.....	43
5.3	Κυκλομετατροπείς.....	44
5.4	Πηνίο:.....	45
5.5	Πυκνωτής:	46
5.6	Τεχνική βελτίωσης του συντελεστή ισχύος	46
6	Μέγιστη μεταφορά Ενέργειας.....	48
6.1	Νόμος του Ohm στο εναλλασσόμενο ρεύμα:	48
6.2	Απλοί καταναλωτές:.....	48
6.3	Κύκλωμα με ωμικό καταναλωτή:	48
6.4	Κύκλωμα με επαγωγικό καταναλωτή:	50

6.5	Κύκλωμα με χωρητικό καταναλωτή:	54
6.6	Κύκλωμα με σύνθετο καταναλωτή σε σειρά	58
6.7	Κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση σε σειρά.	59
6.8	Καταναλωτής με αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά.	61
6.9	Συντονισμός καταναλωτή σε σειρά.....	66
6.10	Διάγραμμα αντιστάσεων του καταναλωτή σε σειρά	67
7	Προσομοιώσεις-Αποτελέσματα.....	68
8	Επίλογος.....	75
9	Βιβλιογραφία	76

1 Εισαγωγή

Σήμερα, ολοένα και πιο επιτακτική είναι η ανάγκη χρήσης νέων μορφών ενέργειας λόγω της κλιματικής αλλαγής. Έρευνες που έχουν ολοκληρωθεί σε παγκόσμια κλίμακα την τελευταία δεκαετία, έχουν δείξει ότι το δυναμικό της ενέργειας από το θαλάσσιο κυματισμό μπορεί να έχει αξιοσημείωτη συνεισφορά στην παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από θαλάσσια κύματα θα μας απασχολήσει στην εν λόγω εργασία, δηλαδή τα κύματα και το όφελος που μπορεί να έχει ο άνθρωπος από αυτά.

Κυματική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί μία συμπυκνωμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας. Οι άνεμοι, που παράγονται από τη διαφορά θερμάνσεως της γης, περνούν πάνω από ανοικτές υδάτινες μάζες, μεταφέροντας μέρος της ενέργειάς τους για να σχηματίσουν τα κύματα. Η μεταφερόμενη ποσότητα ενέργειας και ως εκ τούτου το μέγεθος των προκύπτων κυμάτων εξαρτώνται από την ταχύτητα του ανέμου, το μήκος του διαστήματος για το οποίο φυσάει ο άνεμος και η απόσταση στην οποία φυσάει.



Με τον όρο κυματισμός χαρακτηρίζεται γενικά το σύνολο των φυσικών φαινομένων που παρουσιάζει η επιφάνεια της θάλασσας, που οφείλονται κυρίως στην απορρόφηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου.

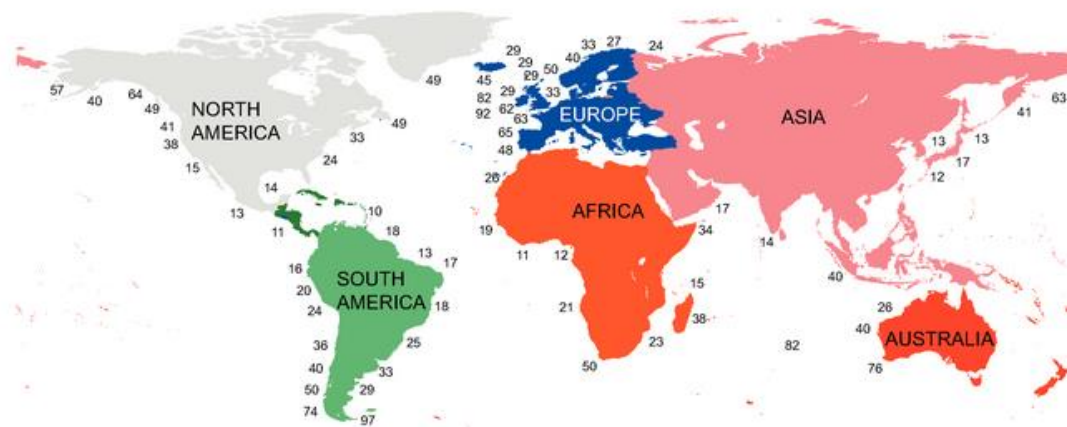
Η κυριότερη αιτία δημιουργίας θαλάσσιων κυμάτων είναι ο άνεμος. Σε κλειστές μάλιστα θάλασσες όπως είναι η Μεσόγειος, η Βαλτική, ο Εύξεινος Πόντος κ.ά. που θεωρούνται απαλλαγμένες από παλίρροιες, ο άνεμος αποτελεί την κατ' εξοχήν αιτία των παρατηρουμένων κυμάτων. Το βάθος στο οποίο αναταράζεται η θάλασσα από τα κύματα είναι όσο περίπου και το επιφανειακό μήκος κύματος, (λίγο μικρότερο), του υφιστάμενου κάθε φορά κυματισμού. Αυτό είναι πολύ γνωστό στα υποβρύχια που "εν καταδύσει" ταξιδεύουν πάντα "εν ηρεμία". Το μέγιστο ύψος κύματος που είχε

καταγραφεί επίσης, ήταν στον Βόρειο Ατλαντικό όπου έφθασε περίπου 22 μέτρα. Η κινητική ενέργεια και μετρίων ακόμη κυμάτων είναι πολύ μεγάλη. Λόγου χάρι, κύμα ύψους περίπου 8 μέτρων, μεταφέρει ενέργεια σε προσβαλλόμενη ακτογραμμή που ισοδυναμεί με 700 Ηρ/μέτρο (Ηρ/μ). Το γεγονός αυτό ερμηνεύει και τα καταστροφικά αποτελέσματα των κυμάτων επί των ακτών και των ναυαγίων.



1.1 Που εμφανίζονται τα θαλάσσια κύματα

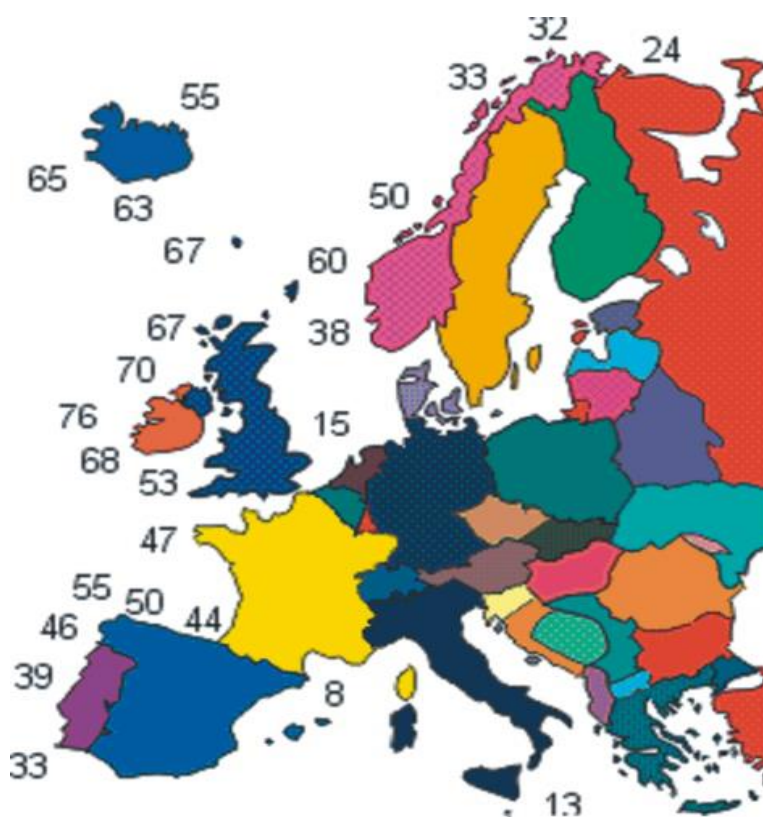
Η πυκνότητα ενέργειας των κυμάτων μετράται σε κιλοβάτ (kW) ανά μέτρο (m) μέτωπο κύματος για τα διάφορα μέρη του κόσμου παρέχονται στο παρακάτω γράφημα.



Το γράφημα αυτό μας δείχνει ότι οι πιο ενεργειακά πλούσιες ακτές στον κόσμο που βρίσκονται στις ακτές των περιοχών με δυτική έκθεση στον Νότιο Ωκεανό (Χιλή, Νότια Αυστραλία, νότια δυτικών ακτών στο Νότιο Νησί της Νέας Ζηλανδίας, καθώς και τμήματα της Δυτικής Ευρώπης, αξιοσημείωτα η Ιρλανδία, η Σκωτία και η Ισλανδία, καθώς και ο δυτικός Καναδάς και η Νότια Αφρική).

Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι οι περιοχές αυτές έχουν το υψηλότερο δυναμικό για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων, καθώς υπάρχουν πολλοί παράγοντες που εμπλέκονται. Αρκετές από αυτές τις τελευταίες περιοχές απομονώνονται λόγω φτωχών επικοινωνιών.

Το υψηλότερο δυναμικό κατά το πρώτο στάδιο για την κυματική ενέργεια είναι πιθανώς περιοχές, όπως τα νησιά στη ζώνη του Ειρηνικού, όπου η ολική ενέργεια των κυμάτων είναι πολύ χαμηλότερη, αλλά πολύ πιο σταθερή, τόσο στη δύναμη και την κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμένα στην Ευρώπη βλέπουμε:

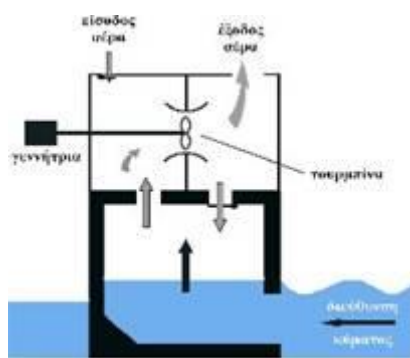


Στη Μεσόγειο, το ετήσιο επίπεδο ισχύος στα ανοικτά των ακτών των ευρωπαϊκών χωρών κυμαίνεται μεταξύ 4 και 11 kW / m, με υψηλότερες τιμές που εμφανίζονται για την περιοχή κοντά στο νότιο-δυτικό Αιγαίο Πέλαγος. Η συνολική ετήσια πηγή βαθέων υδάτων κατά μήκος των ευρωπαϊκών ακτών στη Μεσόγειο είναι της τάξης των 30 GW, η συνολική πηγή ενέργειας των κυμάτων για την Ευρώπη καταλήγουμε να ισοδυναμεί με 320 GW.

1.2 Τρόποι εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας γενικότερα

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης και είναι μια τεράστια αποθήκη κινητικής ενέργειας αποθηκευμένης στα κύματα, στις παλίρροιες και στα θαλάσσια ρεύματα. Οι ωκεανοί, ως φυσικοί αποταμιευτήρες μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας:

- από τα κύματα
- τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες)
- από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού



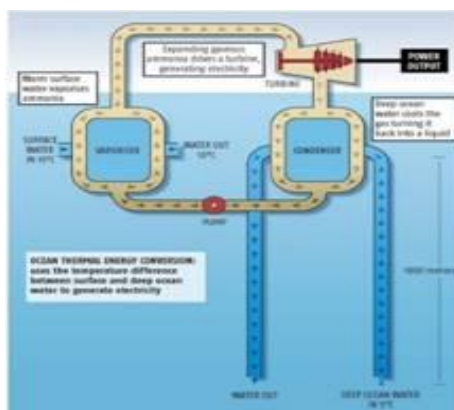
Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα επάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τρόπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων.

Από τις παλίρροιες: Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

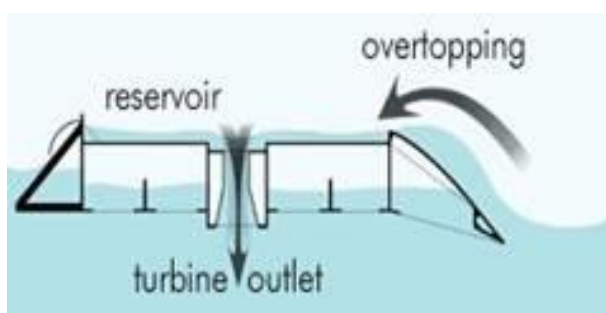
Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών.

Θερμοκρασιακές διαφορές του νερού της θάλασσας: Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η τεχνολογία μετατροπής της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιεί σε πρώτη φάση το θερμό νερό για να ζεστάνει σε ειδικό θάλαμο μια

ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού όπως η αμμωνία ή ένα μείγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μίγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού.



Τα κύματα προκαλούνται κυρίως από την κίνηση του ανέμου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, άρχισαν να αναπτύσσονται από διάφορους ερευνητές μηχανισμοί που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια των κυμάτων σε ηλεκτρική. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται κυρίως στα τρέχοντα κύματα, που μεταφέρουν κινητική ενέργεια, και όχι στα κύματα αιώρησης, που απλά ανεβοκατεβαίνουν. Τα συστήματα που έχουν κατά καιρούς προταθεί είναι πλωτά ή βυθιζόμενα πλήρως στο νερό. Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει τον στρόβιλο, όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα.



Ένας άλλος τρόπος εκμετάλλευσης της ενέργειας από τα κύματα είναι ο εξής. Σε μια σταθερή κατασκευή που αποτελείται από μια στήλη που περιέχει ένα στρόβιλο αφήνεται να προσκρούσουν κύματα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιάζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τρόπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων.



Καθώς το κύμα μπαίνει στη στήλη σπρώχνει τον αέρα της στήλης να περάσει και να κινηθεί τον στρόβιλο, αυξάνοντας παράλληλα την πίεση του αέρα μέσα στην στήλη. Όταν το κύμα υποχωρεί ο πιεσμένος αέρας γυρίζει πίσω συνεχίζοντας να δίνει κίνηση στον στρόβιλο. Οι υποθαλάσσιες τουρμπίνες εκμεταλλεύονται τα ωκεάνια ρεύματα και χρησιμοποιούν την ενέργειά τους για να κινήσουν αργόστροφες τουρμπίνες.

1.3 Παρουσίαση Συστημάτων Μετατροπής Κυματικής Ενέργειας Σε Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ενέργεια από τα κύματα παράγεται από την κίνηση των κυμάτων στην θαλάσσια επιφάνεια που προκαλείται από τους κατά τόπους ανέμους. Η κυματική ενέργεια αποτελεί μία μη συνηθισμένη χαμηλής συχνότητας πηγή ενέργειας η οποία θα πρέπει να μετατραπεί σε συχνότητα της τάξεως των 50 ή 60 Hertz πριν ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια πολλά συστήματα έχουν επινοηθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό έχει δοκιμαστεί και αξιολογηθεί για την αξιοπιστία τους. Επιπρόσθετα, ελάχιστα από αυτά έχουν δοκιμαστεί στην θάλασσα υπό πραγματικές συνθήκες εξομοίωσης ενώ τα περισσότερα έχουν αξιολογηθεί σε εργαστηριακές δεξαμενές.

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό η να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Παρά τις δυνατότητες που παρουσιάζουν τα συστήματα κυματικής ενέργειας τα περισσότερα πρωτότυπα αυτών έχουν εγκατασταθεί στις ακτές. Η αισθητική επίδραση ενός συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του συστήματος στο φυσικό περιβάλλον.

Αντίθετα συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό. Έτσι προσοχή απαιτείται τόσο στην μορφή του συστήματος που πρόκειται να υιοθετηθεί καθώς και πως θα εναρμονιστεί με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική τοπίου και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Η συνεργασία του μελετητή αρχιτέκτονα και μηχανολόγου μηχανικού κρίνεται απαραίτητη και επιτακτική για αρμονικό σχεδιασμό.

Κατά την δεκαετία του '70 μόνο δύο χώρες κατάφεραν να αναδείξουν τις δυνατότητες των συστημάτων κυματικής ενέργειας μέσα από τα ερευνητικά τους προγράμματα, η Ιαπωνία και η Μεγάλη Βρετανία. Οι επίμονες προσπάθειες των ερευνητών τους κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοση παραγωγικότητας των συστημάτων αυτών. Σε γενικές γραμμές τα συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τα σταθερά και τα πλωτά.

2 Η κυματική ενέργεια

2.1 Οφέλη

Τα οφέλη από την κυματική ενέργεια είναι ποικίλα και αναλύονται παρακάτω.

1. Τα κύματα της θάλασσας προσφέρουν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα κύματα δημιουργούνται από τους ανέμους οι οποίοι με τη σειρά τους δημιουργούνται από την ηλιακή ενέργεια. Η τυπική ηλιακή ενεργειακή ένταση $0.1-0.3\text{kW/m}^2$ μετατρέπεται σε μέση ένταση ροής ισχύος του $2-3\text{kW/m}^2$ ενός κατακόρυφου επιπέδου κάθετου προς την κατεύθυνση της διάδοσης του κύματος ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού.
2. Η κυματική ενέργεια έχει περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε γενικές γραμμές οι υπεράκτιες συσκευές δεν έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην χλωρίδα-πανίδα σε σχέση με αυτές που είναι κοντά στις ακτές.
3. Φυσική εποχιακή διακύμανση της ενέργειας των κυμάτων, την οποία ακολουθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε εύκρατα κλίματα.
4. Τα κύματα μπορούν να διανύουν μεγάλες αποστάσεις με μικρή απώλεια ενέργειας. Καταιγίδες από τη δυτική πλευρά του Ατλαντικού ωκεανού θα ταξιδέψουν προς τη δυτική ακτή της Ευρώπης, που υποστηρίζονται από τους δυτικούς ανέμους που επικρατούν.
5. Έχει αναφερθεί ότι οι συσκευές κυματικής ενέργειας μπορούν να παράγουν ενέργεια μέχρι 90% του χρόνου παραπάνω σε σύγκριση με το 20-30% των αιολικών και ηλιακών συσκευών.

2.2 Ανασκόπηση της μετατροπής κυματικής ενέργειας

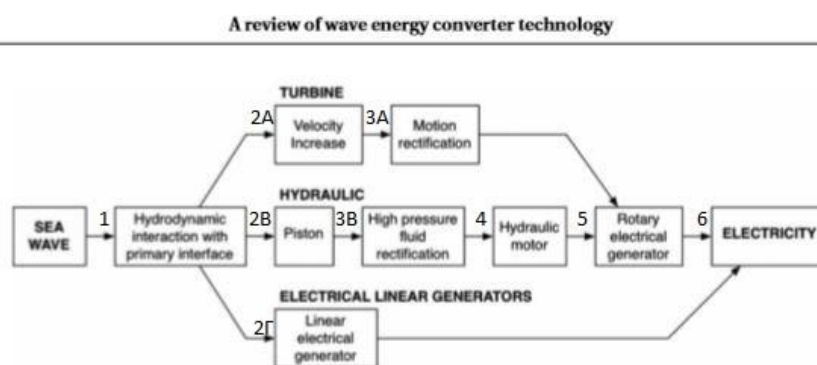


Fig. 8 Alternative PTO mechanisms

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα, υπάρχουν τρεις διαδρομές για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η πρώτη αποτελείται από έξι βήματα μέχρι να παραχθεί το ρεύμα, η δεύτερη έχει επτά βήματα, ενώ η τελευταία και η πιο σύντομη αποτελείται από τέσσερα βήματα.

2.2.1 Αναλυτικά η πρώτη:

Αρχικά έχουμε:

Θαλάσσια κύματα, υδροδυναμική αλληλεπίδραση με κύρια διασύνδεση, κατευθυντήρια αύξηση της ταχύτητας, ανορθωτική κίνηση, περιστροφική ηλεκτρογεννήτρια, ηλεκτρισμός.

Με αυτήν την διαδικασία λειτουργεί το wave dragon.

2.2.2 Αναλυτικά η δεύτερη:

Αρχικά έχουμε:

Θαλάσσια κύματα, υδροδυναμική αλληλεπίδραση με κύρια διασύνδεση, έμβολο, υψηλή ανορθωτική πίεση του υγρού, υδραυλικός κινητήρας, περιστροφική ηλεκτρογεννήτρια, ηλεκτρισμός.

Με αυτήν την διαδικασία λειτουργεί το relamis.

2.2.3 Αναλυτικά η τρίτη:

Αρχικά έχουμε:

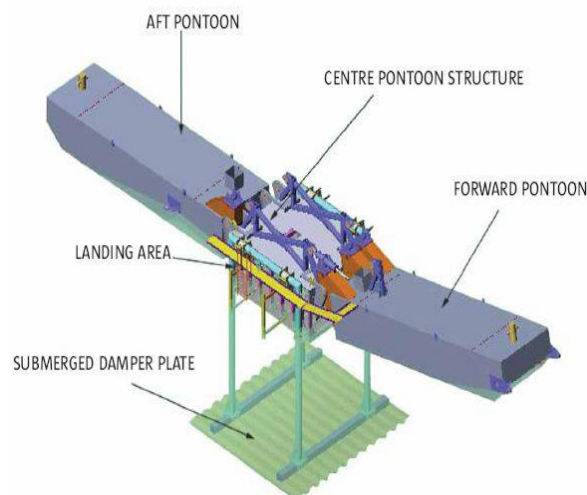
Θαλάσσια κύματα, υδροδυναμική αλληλεπίδραση με κύρια διασύνδεση, ηλεκτρική γραμμική γεννήτρια, ηλεκτρισμός.

Με αυτήν την διαδικασία λειτουργεί το AWS.

3 Υπεράκτιοι μετατροπείς κυματικής ενέργειας

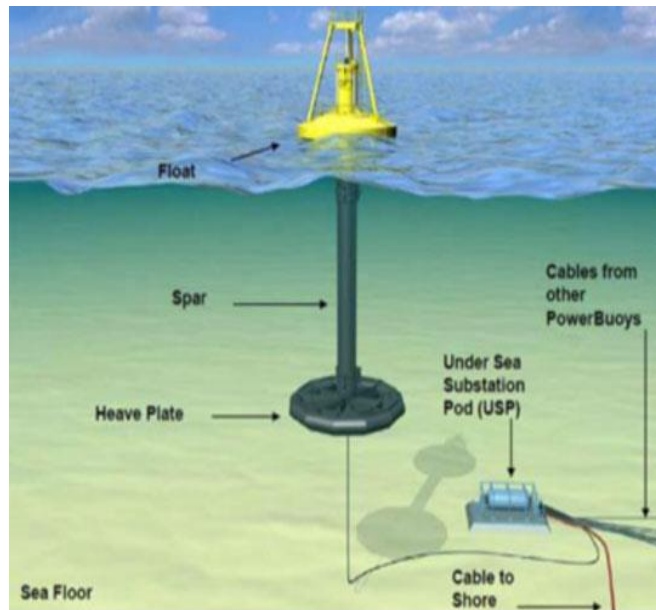
3.1 The McCabe Wave Pump.

Το βασικό χαρακτηριστικό στο σύστημα είναι η πλάκα απόσβεσης που συνδέεται με το κεντρικό πλωτήριο, αυτό αυξάνει την αδράνεια του κεντρικού πλωτήρα (με την αποτελεσματική πρόσθεση μάζας), εξασφαλίζοντας ότι παραμένει ακόμη σταθερή. Ως εκ τούτου, η εμπρόσθια και οπίσθια προβλήτα κινείται σε σχέση με το κεντρικό πλωτήριο με τη ρίψη γύρω από τις αρθρώσεις. Ενέργεια εξάγεται από την περιστροφή σε σχέση με τα σημεία άρθρωσης με γραμμικά υδραυλικά έμβολα τοποθετημένα μεταξύ της κεντρικής και δύο εξωτερικών προβλητών κοντά στις αρθρώσεις.



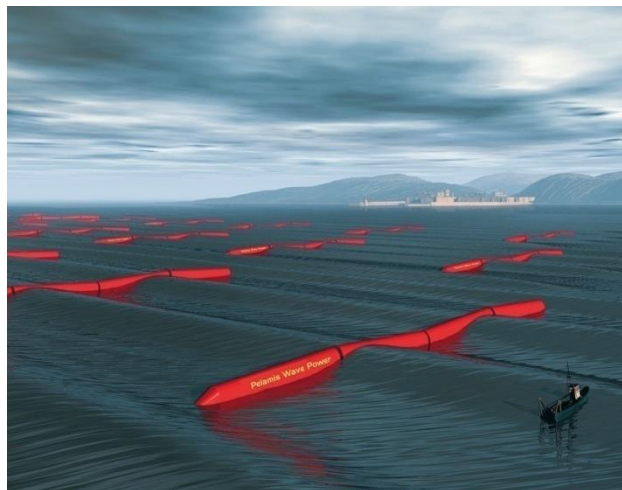
3.2 The OPT WEC:

Πρόκειται για ένα απλό και έξυπνο μηχανικό σύστημα για την κίνηση των γεννητριών που χρησιμοποιούν μηχανική ισχύ που αναπτύσσεται από το μετατροπέα ενέργειας των κυμάτων. Έχει πολύ αποτελεσματική ηλεκτρονική μετατροπή ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γεννήτριες και τα ηλεκτρονικά στεγάζονται σε ένα υδατοστεγές διαμέρισμα, σε θαλάσσιους πλωτήρες. Το σύστημα χρησιμοποιεί τυπική θαλάσσια βαθμού αγωγού ισχύ και σύνδεση με το δίκτυο υλικού και λογισμικού, καθώς και ένας συνδυασμός αλυσίδων πρόσδεσης και αγκυρών χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση.



3.3 The Pellamis

Είναι μία ημι-βυθισμένη συσκευή με αρθρωτή δομή που αποτελείται από κυλινδρικά τμήματα που συνδέονται με αρθρωτούς δεσμούς. Το κύμα που προκαλείται από την κίνηση αυτών των αρθρώσεων αντιστέκεται με υδραυλικά έμβολα που αντλούν έλαιο υψηλής πίεσης μέσω υδραυλικών κινητήρων μέσω λείανσης των συσσωρευτών. Οι υδραυλικοί κινητήρες κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



3.4 The Archimedes Wave Swing.

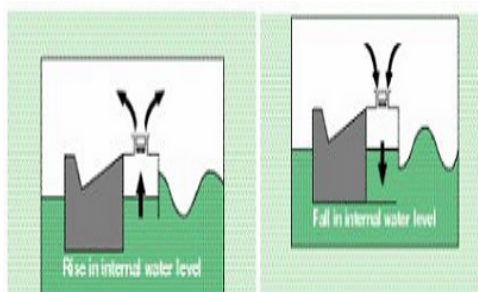
Αυτή η συσκευή αποτελείται από ένα κυλινδρικό, γεμάτο αέρα θάλαμο (ο "πλωτήρας"), ο οποίος μπορεί να κινείται κατακόρυφα σε σχέση με το κυλινδρικό

“Υπόγειο”, το οποίο είναι στερεωμένο στον πυθμένα της θάλασσας. Ωστόσο, ένα κύμα που διέρχεται πάνω από την κορυφή της συσκευής, εναλλακτικά συμπιέζει και αποσυμπιέζει τον αέρα μέσα στο φλοτέρ αλλάζοντας την άνωση. Αυτό προκαλεί τον πλωτήρα να κινηθεί προς τα επάνω και προς τα κάτω σε σχέση με το υπόγειο και είναι αυτή η σχετική κίνηση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.



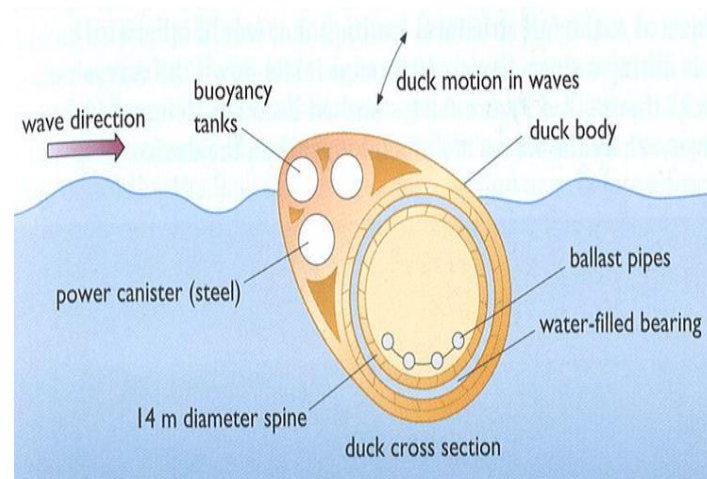
3.5 The Mighty Whale

Το σύστημα μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική με την χρήση κάθετης στήλης νερού που περικλείεται στο εσωτερικό του. Το σύστημα κινείται στην επιφάνεια της θάλασσας, το νερό εισέρχεται στην κάθετη στήλη και κινεί την τουρμπίνα παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Όπως φαίνεται στην εικόνα δεξιά το νερό εισέρχεται από το στόμιο του και αυξάνει την στάθμη του νερού εσωτερικά, ο αέρας κινείται προς τα επάνω και κινεί την τουρμπίνα.



3.6 Salter Duck:

Η Salter Duck αναπτύχθηκε στη δεκαετία του '70 από τον καθηγητή Seshen Salter του πανεπιστημίου του Εδιμβούργου στη Σκωτία και παράγει την ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας την κίνηση πάνω-κάτω των κυμάτων.



3.7 Wave Dragon:

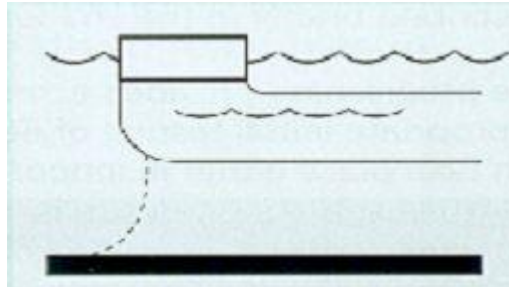
Η συσκευή Dragon κυμάτων ανυψώνει τα ωκεάνια κύματα τα οποία αποθηκεύονται προσωρινά σε μια μεγάλη δεξαμενή. Αυτό το νερό αφήνεται από τη δεξαμενή Dragon μέσω διαφόρων στροβίλων παράγοντας κατά συνέπεια την ηλεκτρική ενέργεια όπως στις εγκαταστάσεις υδρο-παραγωγής ενέργειας.

Το Wave Dragon είναι μια επιπλέονσα συσκευή με σκοπό να είναι πολύ σταθερή στα κύματα θύελλας.



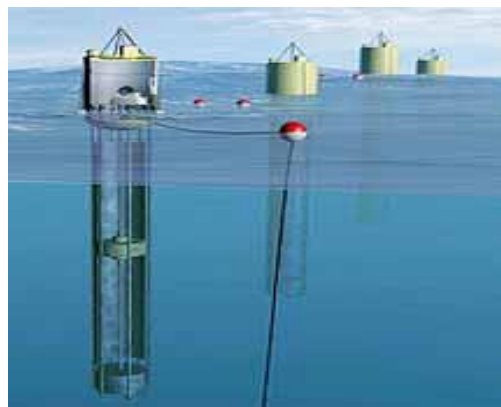
3.8 Το σύστημα Swan DK3:

Στο σύστημα αυτό περιλαμβάνεται ένας αγωγός σε σχήμα L στο κάτω μέρος και το νερό εισέρχεται στον αγωγό και ο αέρας κινεί την τουρμπίνα στο επάνω μέρος παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια.



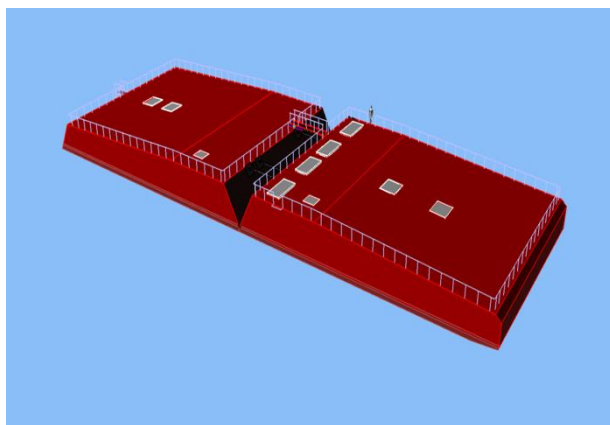
3.9 AquaBuOY:

Το σύστημα αυτό είναι τοποθετημένο οκτώ AquaBuOys 2 ½ μίλια από την ακτή, όπου με την κίνηση του ωκεανού επιπλέον, θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω αντλιών με εύκαμπτο δίχρονο σωλήνα. Η ηλεκτρική ενέργεια, στη συνέχεια, με τη σειρά της κινείται με ένα υποβρύχιο καλώδιο μεταφοράς προς την ακτή.



3.10 Crestwing:

Η συσκευή αποτελείται από δύο φλοτέρ που συνδέονται με μία άρθρωση. Χρησιμοποιεί ατμοσφαιρική πίεση που ενεργεί στην μεγάλη περιοχή του για να κολλήσει στην επιφάνεια των ωκεανών. Αυτό επιτρέπει να ακολουθεί τα κύματα. Με την σχετική κίνηση των δύο πλωτήρων μετατρέπεται η ενέργεια των κυμάτων σε ηλεκτρισμό.



3.11 PowerBuoy:

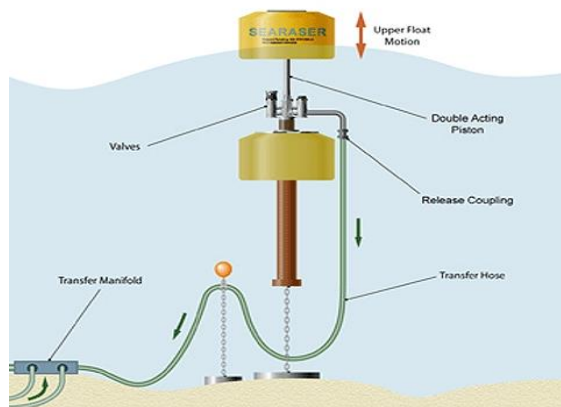
Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί σημαδούρες. Η άνοδος και η πτώση των κυμάτων κινούν μια σχάρα και έναν οδοντωτό τροχό μέσα στη σημαδούρα η οποία περιστρέφει μια γεννήτρια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταδίδεται από μια βυθισμένη γραμμής μετάδοσης στην ακτή.



3.12 SeaRaser:

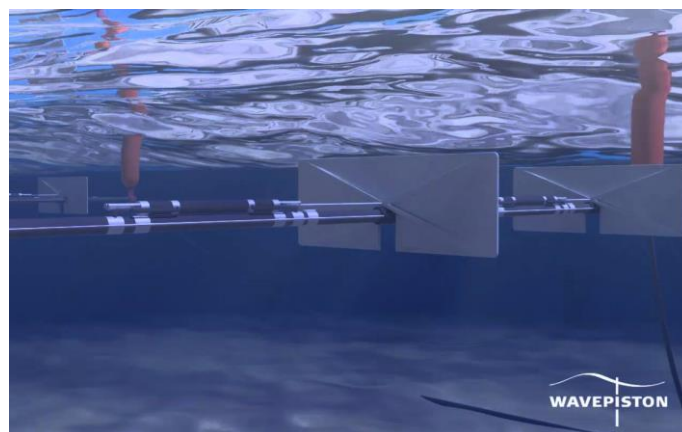
Το σύστημα αποτελείται από μία αντλία με έμβολο που συνδέεται με τον πυθμένα της θάλασσας με ένα φλωτέρ (σημαδούρα) το οποίο είναι δεμένο με το έμβολο. Τα κύματα προκαλούν τον πλωτήρα να ανέβει και να κατέβει, δημιουργώντας πίεση στο

νερό. Το νερό πλέον υπό πίεση διοχετεύεται στη δεξαμενή που βρίσκεται στην ξηρά και στη συνέχεια οδηγεί τις υδραυλικές γεννήτριες.



3.13 Wavepiston:

Τα συστήματα Wavepiston χρησιμοποιούν κάθετες πλάκες για να εκμεταλλευτούν την οριζόντια κίνηση των κυμάτων του ωκεανού. Όταν οι κάθετες πλάκες κινούνται παράγουν νερό υπό πίεση. Το νερό υπό πίεση μεταφέρεται σε μία τουρμπίνα μέσω σωλήνων PE. Ένας κεντρικός σταθμός τουρμπίνων στη συνέχεια το μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια.



3.14 Dexawave:

Αυτός ο μετατροπέας κυματικής ενέργειας είναι μια απλή κατασκευή. Αποτελείται από δύο άκαμπτες προβλήτες, οι οποίες αρθρώνονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μια πατενταρισμένη άρθρωση. Ο ένας πλωτήρας μπορεί να περιστρέφεται σε σχέση με τον άλλο. Υπάρχει ανύψωση στο σύστημα υδραυλικής ισχύος στην κορυφή του μετατροπέα, δημιουργώντας έως 250 kW ηλεκτρική ενέργεια.



Γενικά χαρακτηριστικά μετατροπέων ενέργειας:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	ΧΩΡΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Power take off
McCabe Wave Pump	ΙΡΛΑΝΔΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
OPT WEC	ΗΠΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΕΜΒΟΛΟ
Pellamis	ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ
Archimedes Wave Swing	ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΑΕΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
Mighty Whale	ΙΑΠΩΝΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΑΕΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
Salter Duck	ΣΚΩΤΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	
Wave Dragon	ΔΑΝΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
Swan DK3	ΔΑΝΙΑ, ΚΙΝΑ, ΙΑΠΩΝΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	
AquaBuOY	ΙΡΛΑΝΔΙΑ, ΚΑΝΑΔΑΣ-ΣΚΩΤΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΑΕΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
Crestwing	ΔΑΝΙΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ
PowerBuoy	ΗΠΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
SeaRaser	ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	ΚΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΕΜΒΟΛΟ
Wavepiston	ΔΑΝΙΑ	ΚΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑ
Dexawave	ΔΑΝΙΑ – ΜΑΛΤΑ	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ	

ΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΙΣΧΥΣ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΕΙΔΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ
McCabe Wave Pump	1996	400 KW		
OPT WEC		20-50 KW	10t	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ
Pellamis	1998	375 KW	1350 t	ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ
Archimedes Wave Swing	2010	250 KW (;)	2,5 t	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ
Mighty Whale	1998	50+10 KW,		ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ
Salter Duck	1993		115 kg	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ
Wave Dragon	2003	4-11 MW	33 t	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ
Swan DK3				
AquaBuOY	2003	250 KW		
Crestwing	2011			
PowerBuoy	1997	150 KW		
SeaRaser	2008	1,5KW		
Wavepiston	2013			
Dexawave		250 kW		

3.15 Προοπτικές υλοποίησης τέτοιων συστημάτων στην Ευρώπη και την Ελλάδα

Το διαθέσιμο κυματικό δυναμικό δεν είναι ίδιο στα διάφορα μέρη του κόσμου. Έτσι, το κυματικό δυναμικό των ακτών της δυτικής Ευρώπης είναι ιδιαίτερα υψηλό, ενώ αντίθετα στις κλειστές θάλασσες όπως η Μεσόγειος το δυναμικό είναι μικρότερο. Έρευνες έχουν δείξει ότι η κυματική ενέργεια μπορεί να καλύψει το 10% της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια στην Ευρώπη, ως το 2030. Η κυματική ενέργεια παρουσιάζει όλα τα οφέλη των ΑΠΕ -μηδενικές εκπομπές προϊόντων καύσης (CO₂), απεξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα κ.λπ.- αλλά και ειδικότερα, πλεονεκτήματα με σημαντικότερο αυτό της μεγάλης πυκνότητας ενέργειας και της μικρής οπτικής όχλησης, ακόμα και αν οι συσκευές εγκαθίστανται σε απόσταση που είναι ορατές από την ακτή, καθώς το μεγαλύτερο μέρος τους είναι βυθισμένο στη θάλασσα.

Αυτή τη στιγμή 5 ευρωπαϊκές χώρες με προεξάρχουσα τη Γαλλία λειτουργούν μονάδες ισχύος 250 MW συνολικά ενώ 3 ακόμη χώρες έχουν ξεκινήσει να εγκαθιστούν νέες μικρές μονάδες. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι πολλών ειδών, και μέχρι στιγμής δεν έχει διαφανεί μια τεχνολογία η οποία να υπερισχύει των άλλων. Πέραν

όμως των συσκευών που σχεδιάζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου, υπάρχουν πολλές συσκευές, που χρησιμοποιούν ως ενδιάμεσο προϊόν το θαλασινό νερό υπό πίεση. Αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον ελληνικό χώρο, καθώς το προϊόν αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα σε διαδικασίες αφαλάτωσης και παροχής γλυκού νερού κατάλληλου προς χρήση σε νησιωτικές και μη περιοχές, όπου το γλυκό νερό είναι ελλειμματικό.

Το ΚΑΠΕ είχε, παλαιότερα, συμμετάσχει σε πειραματικό έργο αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας, ένα από τα δύο έργα κυματικής ενέργειας που αναπτύχθηκαν στην Ελλάδα. Στο πλαίσιο του κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε στη νήσο Ψυττάλεια μια διάταξη τεσσάρων πλωτήρων συνδεδεμένων μεταξύ τους, οι οποίοι κινούσαν μια γεννήτρια. Η συσκευή λειτούργησε για κάποιο χρονικό διάστημα και ελήφθησαν τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα. Πλην όμως σε σύντομο χρονικό διάστημα είχε την τύχη που είχαν σχεδόν όλες οι πρώτες προσπάθειες αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας, που λειτουργούν στο σκληρό θαλάσσιο περιβάλλον. Καταστράφηκε από κακοκαιρία με ισχυρό νότιο άνεμο στον οποίο είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη η Ψυττάλεια.

Λόγω το ίδιου του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η κυματική ενέργεια αντιμετωπίζει ακόμα πολλές δυσκολίες, ενώ θέμα αποτελεί και το κόστος παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, η ερευνητική πειραματική διαδικασία σε τεχνικό επίπεδο έχει σημειώσει αξιοσημείωτη πρόοδο και το πολιτικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον αυξάνεται. Παραμένουν παρά ταύτα αρκετά μη τεχνικά εμπόδια τα οποία πρέπει να διευθετηθούν και να ξεπεραστούν, προκειμένου να επισπευσθεί η ανάπτυξη της νέας αυτής αγοράς. Το έργο WAVEPLAM, έχει ως στόχο τον περιορισμό ή και την άρση των μη τεχνολογικής φύσης εμποδίων, που θα προκύψουν όταν μεγάλης κλίμακας εφαρμογές των τεχνολογιών αυτών θα είναι έτοιμες προς εγκατάσταση.

3.16 Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουμε τις παρακάτω αναφορές:

-Pelamis πρωτότυπο μηχανής στο EMEC, Σκωτία το 2004.

-Ποσειδώνας φαίνεται από τα ανωτέρω σε Onsevig, Δανία.

-Τα πλωτά συστήματα Salter Duck, Clam και Archimedes, Σκανδιναβία.

Το σύστημα Swan DK3, αναπτύχθηκε από την Ιαπωνία, έλλειψη κονδυλίων οδήγησε στο να αναπτυχθεί από την συνεργασία της Κίνας με τη Σουηδία.

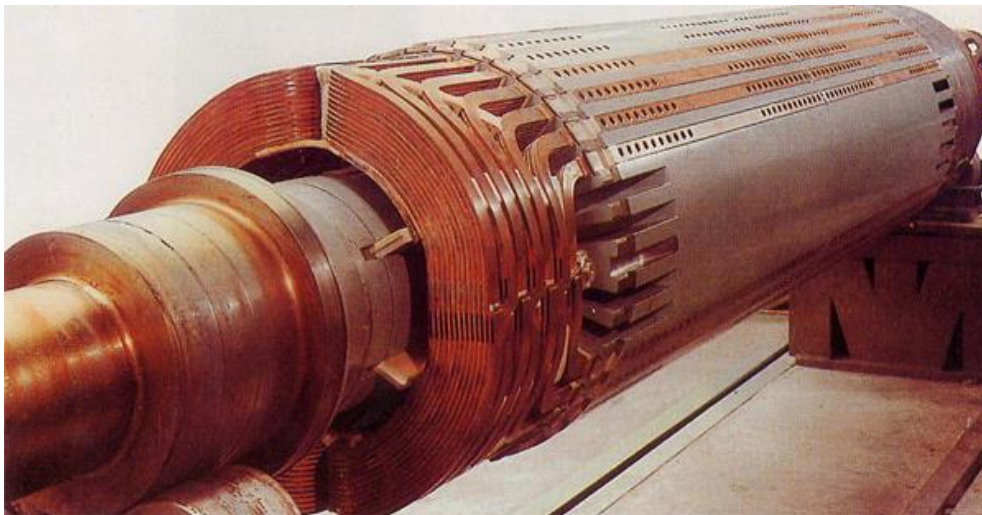
4 Σύγχρονες γεννήτριες

Οι Σύγχρονες γεννήτριες ή αλλιώς εναλλακτήρες είναι σύγχρονες μηχανές που μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

4.1 Δομή των σύγχρονων γεννητριών

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μια σύγχρονη γεννήτρια είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα της με συνεχές ρεύμα. Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται παίρνοντας κίνηση από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του. Τελικά, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, η οποία εμφανίζεται στην έξοδο της μηχανής.

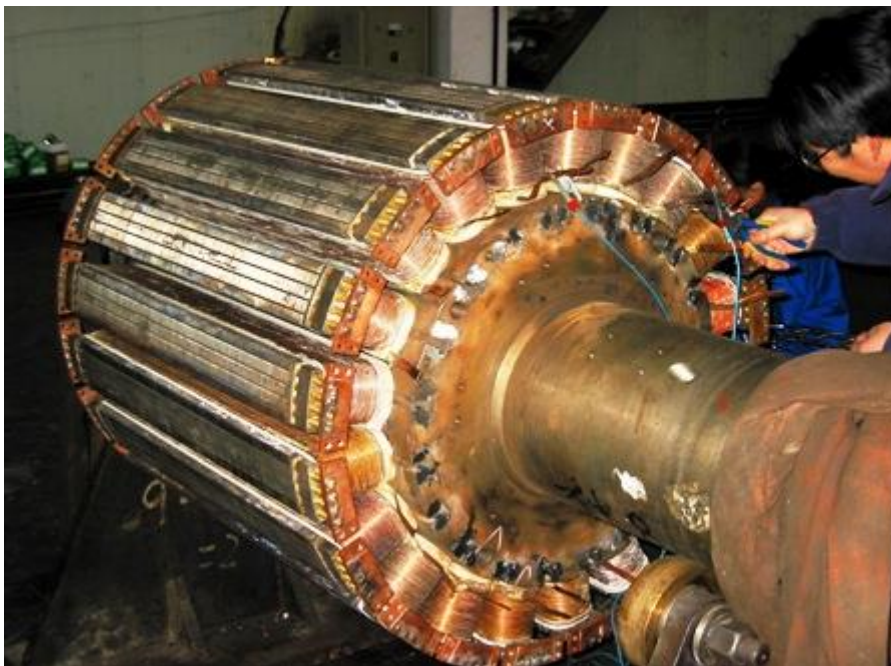
Ο δρομέας μιας σύγχρονης μηχανής μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μεγάλος ηλεκτρομαγνήτης τόσο στην περίπτωση που η γεννήτρια είναι έκτυπων πόλων, όσο και όταν αυτή διαθέτει κυλινδρικό δρομέα. Οι πόλοι μιας γεννήτριας έκτυπων πόλων διακρίνονται στην επιφάνεια του δρομέα ενώ όταν ο δρομέας είναι κυλινδρικός, οι πόλοι της βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την υπόλοιπη επιφάνειά του.



Κυλινδρικός Ρότορας ή δρομέας μιας σύγχρονης γεννήτριας

Δρομείς με κυλινδρική επιφάνεια έχουν συνήθως οι γεννήτριες δυο ή τεσσάρων πόλων, ενώ οι γεννήτριες έκτυπων πόλων συνήθως διαθέτουν πάνω από τέσσερις πόλους. Ο δρομέας των σύγχρονων γεννητριών κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα με σκοπό τη μείωση των απωλειών εξαιτίας των δινορρευσμάτων.

Πράγματι, επειδή ο δρομέας εκτίθεται σε συχνές μεταβολές του μαγνητικού του πεδίου, η ανάπτυξη δινορρευμάτων στο εσωτερικό του είναι αναπόφευκτη.



Ρότορας ή δρομέας έκτυπων πόλων μιας σύγχρονης γεννήτριας

Ακόμη, το τυλίγμα του δρομέα στις σύγχρονες γεννήτριες θα πρέπει να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Επειδή όμως, ο δρομέας περιστρέφεται, είναι ανάγκη να αναπτυχθεί κάποιος ειδικός τρόπος τροφοδοσίας του τυλίγματος του. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές τροφοδοσίας του δρομέα είναι:

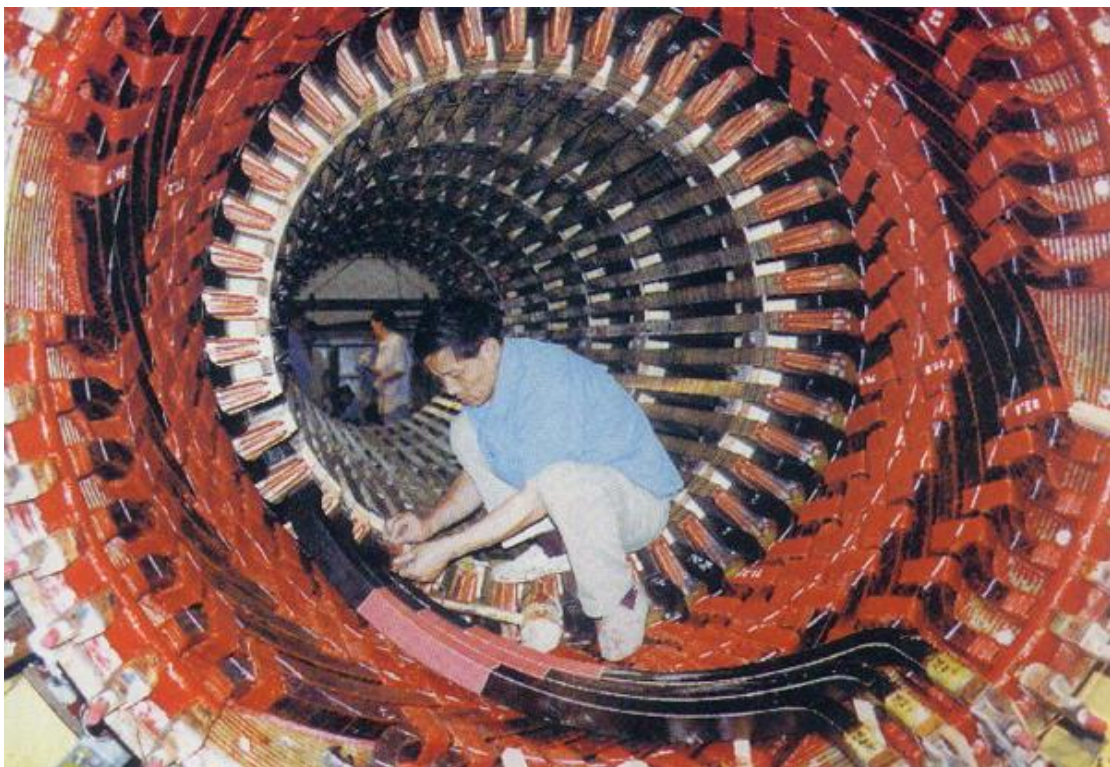
1. Με τροφοδοσία από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, οπότε ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δαχτυλίδια
2. Με τροφοδοσία από ειδική πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας.

Τα μεταλλικά δαχτυλίδια της γεννήτριας καλύπτουν όλη την περίμετρο του άξονά της και μονώνονται ηλεκτρικά απ' αυτόν. Συνήθως το ένα άκρο του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται στο πρώτο από τα δύο δαχτυλίδια και το άλλο άκρο στο δεύτερο. Οι ψήκτρες τοποθετούνται, ώστε να εφάπτονται μια στο κάθε δαχτυλίδι. Έτσι με τη σύνδεση του θετικού άκρου της πηγής στη μια ψήκτρα και του αρνητικού στην άλλη επιτυγχάνεται η συνεχής τροφοδοσία του δρομέα.

Όμως, η χρήση δαχτυλιδιών και ψηκτρών για την τροφοδοσία του δρομέα της γεννήτριας με συνεχές ρεύμα παρουσιάζει δυο μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι

απαιτείται συχνή αντικατάσταση των ψηκτρών, που φθείρονται λόγω τριβής και το δεύτερο ότι η πτώση τάσης στις ψήκτρες μπορεί να προκαλέσει αρκετά σημαντικές απώλειες ισχύος, ιδίως όταν τα ρεύματα που τις διαρρέουν έχουν μεγάλη ένταση. Παρόλα αυτά ο συνδυασμός δαχτυλιδιών και ψηκτρών χρησιμοποιείται σε σύγχρονες γεννήτριες μικρή ισχύος, όπου η χρήση άλλων μεθόδων είναι εξαιρετικά δαπανηρή.

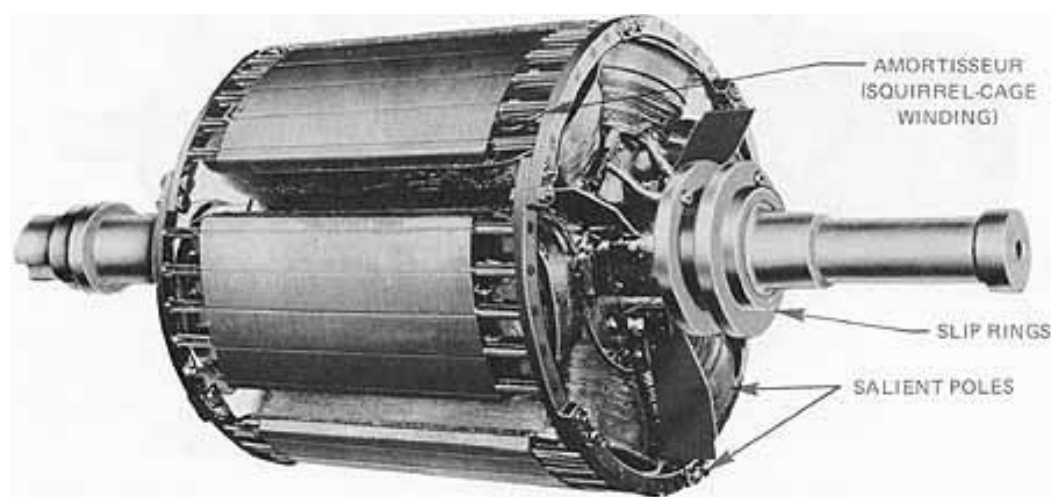
Σε μεγαλύτερες γεννήτριες χρησιμοποιούνται διεγέρτριες μηχανές χωρίς ψήκτρες για να τροφοδοτήσουν με συνεχές ρεύμα το δρομέα της γεννήτριας. Αυτές οι διεγέρτριες μηχανές είναι μικρές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος των οποίων το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το στάτη της κύριας γεννήτριας, ενώ το κύκλωμα οπλισμού τους τοποθετείται στον άξονα του δρομέα. Η τριφασική έξοδος της διεγέρτριας ανορθώνεται από έναν τριφασικό ανορθωτή, που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής και το συνεχές ρεύμα εξόδου του ανορθωτή οδηγείται στο τύλιγμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Μ' αυτή τη μέθοδο μπορεί να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας μεταβάλλοντας απλά το συνεχές ρεύμα διέγερσης της διεγέρτριας, που βρίσκεται πάνω στο στάτη, και έχει πολύ μικρότερη τιμή.



Στάτορας Σύγχρονης γεννήτριας

Για να γίνει, όμως, η διαδικασία τροφοδοσίας του δρομέα εντελώς ανεξάρτητη από εξωτερικές πηγές, μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα μια προ-διεγέρτρια μηχανή. Αυτή είναι μια μικρή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος με δρομέα που διαθέτει

μόνιμους μαγνήτες και τοποθετείται στον άξονα της σύγχρονης γεννήτριας. Η προδιεγέρτρια παράγει τριφασική τάση που ανορθώνεται και τροφοδοτεί τη διεγερση της διεγέρτριας, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί το δρομέα της σύγχρονης γεννήτριας. Έτσι η γεννήτρια δεν έχει πια ανάγκη από καμιά εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Επίσης, συχνά οι γεννήτριες με διεγέρτριες διαθέτουν δαχτυλίδια και ψήκτρες, ώστε να έχουν εναλλακτικούς τρόπους τροφοδοσίας της διεγερσής τους σε έκτακτες περιπτώσεις.



Ρότορας ή δρομέας μιας σύγχρονης γεννήτριας

4.2 Ταχύτητα περιστροφής των σύγχρονων γεννητριών:

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, που εξετάζουμε εδώ, ονομάζονται σύγχρονες, επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Ο δρομέας των μηχανών αυτών είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης, του οποίου το πεδίο περιστρέφεται με φορά ίδια με αυτή του δρομέα. Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την εξίσωση:

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

όπου f_e = η ηλεκτρική συχνότητα σε Hz

n_m = η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε r/min (= ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στις σύγχρονες μηχανές)

P = ο αριθμός των πόλων

Επειδή, λοιπόν, ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται το μαγνητικό της πεδίο η παραπάνω εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ ταχύτητας περιστροφής της μηχανής και της ηλεκτρικής συχνότητας της. Όλες οι γεννήτριες όμως, παράγουν συχνότητες 50 Hz ή 60 Hz, οπότε η ταχύτητα περιστροφής τους για συγκεκριμένο αριθμό πόλων είναι προκαθορισμένη.

4.3 Παραγόμενη τάση στο εσωτερικό μίας σύγχρονης γεννήτριας:

Το πλάτος της τάσης στα άκρα της κάθε φάσης μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

$$E_A = \sqrt{2} \pi N_C \phi f$$

Δηλαδή, η E_A εξαρτάται από τη μαγνητική ροή ϕ , από τη συχνότητα η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και από κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Συχνά, όμως, στα προβλήματα που έχουν να κάνουν με σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιείται μία πιο απλή της παραπάνω εξίσωσης, που δίνει έμφαση μόνο στους παράγοντες που μεταβάλλονται κατά τη λειτουργία της μηχανής. Αυτή η απλή μορφή είναι.

$$E_A = K \phi \omega$$

όπου η σταθερά K εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής και είναι:

$$K = \frac{N_C}{\sqrt{2}}$$

αν η ω δίνεται σε ηλεκτρικά rad/s.

Αν όμως η ω δίνεται σε μηχανικά rad/s τότε ισχύει:

$$K = \frac{N_C * P}{\sqrt{2}}$$

Η τάση στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής στη μηχανή και της ταχύτητας περιστροφής της. Όμως, η μαγνητική ροή εξαρτάται από το ρεύμα του δρομέα (ρεύμα διέγερσης) I_f . Τελικά αφού η E_A είναι ανάλογη της ροής.

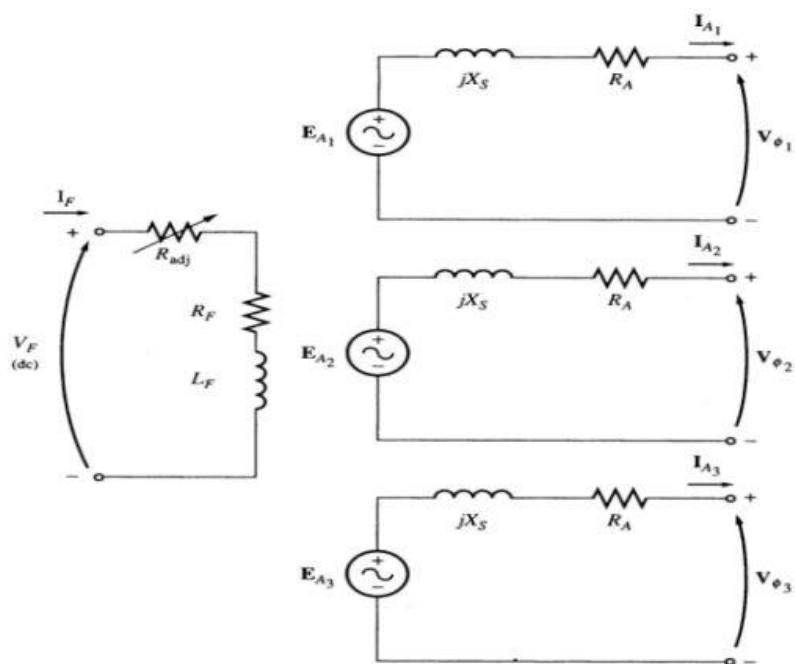
4.4 Ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας

Έστω E_A η τάση στα άκρα της μίας φάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας. Αυτή η τάση σπάνια εμφανίζεται στα άκρα της μηχανής. Αντίθετα είναι

ίση με την αντίστοιχη τάση στα άκρα της μηχανής V_{ϕ} μόνο όταν το ρεύμα οπλισμού είναι μηδέν. Η ανάλυση των αιτιών που διαφοροποιούν την E_A από την V_{ϕ} οδηγεί στην ανάπτυξη του μοντέλου της σύγχρονης γεννήτριας. Οι λόγοι που διαφοροποιούν την E_A από την V_{ϕ} είναι οι εξής:

- Η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής που προκαλείται από το ρεύμα του στάτη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντίδραση οπλισμού (armature reaction).
- Οι αυτεπαγωγές των αγωγών του στάτη.
- Οι αντιστάσεις των αγωγών του στάτη.
- Το σχήμα των έκτυπων πόλων του δρομέα.

Το πιο σημαντικό φαινόμενο είναι αυτό της αντίδρασης οπλισμού. Η περιστροφή του δρομέα στο εσωτερικό της γεννήτριας παράγει E_A σε κάθε φάση του στάτη. Όταν, όμως, στα άκρα της μηχανής συνδεθεί κάποιο φορτίο, εμφανίζεται ρεύμα στους αγωγούς του στάτη, το οποίο παράγει ένα νέο πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Το πεδίο του στάτη με τη σειρά του επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο που ήταν από πριν διαμορφωμένο στη μηχανή, αλλά και την τάση στα άκρα της κάθε φάσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντίδραση οπλισμού, επειδή το τύλιγμα του οπλισμού (στάτη) είναι αυτό που παραμορφώνει την τάση στα άκρα της γεννήτριας.



Σχήμα 1-4: Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα μιας τριφασικής σύγχρονης γεννήτριας [1].

Τώρα πια είναι πιο εύκολη η παράσταση του ισοδύναμου κυκλώματος μιας σύγχρονης γεννήτριας. Αυτό γίνεται στο Σχ. 1-4, όπου φαίνεται το κύκλωμα διέγερσης της μηχανής με τη πηγή που τροφοδοτεί το δρομέα. Το τύλιγμα της διέγερσης αντιπροσωπεύεται από μια αυτεπαγωγή και από μια αντίσταση.

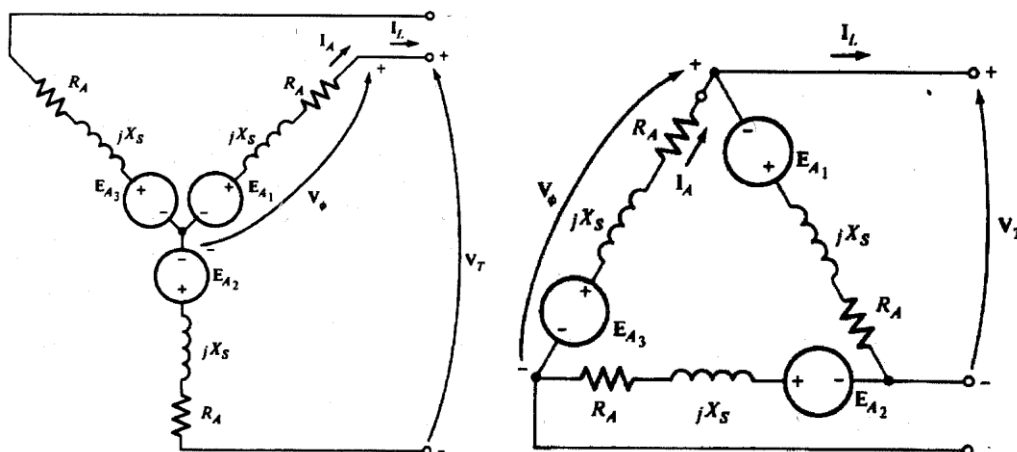
Σε σειρά με την R_f έχει συνδεθεί η ρυθμιστική αντίσταση R_{adj} που μπορεί να μεταβάλει το ρεύμα διέγερσης. Το υπόλοιπο κύκλωμα αποτελείται από τα ισοδύναμα κυκλώματα των τριών φάσεων. Στο καθένα απ' αυτά φαίνονται η αντίστοιχη τάση που παράγεται στο εσωτερικό της μηχανής, σε σειρά με τη σύγχρονη αντίδραση X_s και την αντίσταση του τυλίγματος της φάσης R_A . Οι τάσεις και τα ρεύματα των τριών φάσεων διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στη φάση, ενώ κατά τα άλλα είναι εντελώς όμοιες.

Στο σχήμα παρακάτω, οι τρεις φάσεις του στάτη συνδέονται σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Όταν είναι συνδεδεμένες σε αστέρα, οι αντίστοιχες πολικές τάσεις V_T είναι

$$V_T = \sqrt{3} V_\phi$$

Ενώ, όταν συνδέονται σε αστέρα ισχύει

$$V_T = V_\phi$$



Το γεγονός ότι η μόνη διαφοροποίηση ανάμεσα στις τρεις φάσεις είναι η διαφορά φάσης που εμφανίζεται μεταξύ τους, οδηγεί στην εισαγωγή του ισοδύναμου κυκλώματος ανά φάση.

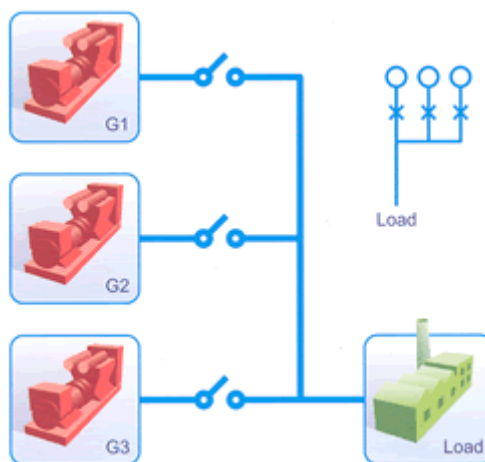
4.5 Συνδεσμολογία γεννητριών για παραγωγή της μέγιστης δυνατής ηλεκτρικής ενέργειας

4.5.1 Παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών

Οι σύγχρονες γεννήτριες μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα. Βασικοί λόγοι που επιβάλλουν την παράλληλη λειτουργία είναι η συνεχής και αξιόπιστη εξυπηρέτηση των καταναλωτών, η οικονομία στις επενδύσεις, το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και η αυξημένη ηλεκτρική ευστάθεια του δικτύου.

1- Παράλληλη λειτουργία συστήματος δύο γεννητριών

Έστω ένα στοιχειώδες σύστημα, αποτελούμενο από 3 γεννήτριες G1, G2 και G3 με τις κινητήριες μηχανές τους PM1, PM2 και PM3, καθώς και ένα φορτίο Load, συνδεδεμένα όπως στο σχήμα παρακάτω.



Για να καταστεί δυνατή η παράλληλη σύνδεση της G2 στο ΣΗΕ (G1), με το κλείσιμο του διακόπτη πρέπει να ισχύουν οι κάτωθι προϋποθέσεις:

- Τα μέτρα των τάσεων ΣΗΕ και G2 είναι τα ίδια και για τις τρεις φάσεις.
- Η διαφορά φάσεως των αντίστοιχων τάσεων είναι 0.
- Η συχνότητα είναι η ίδια.
- Η ακολουθία φάσεων είναι η ίδια.

Τη στιγμή που ο διακόπτης σύνδεσης κλείνει, οι τάσεις στους τρεις ζυγούς του ΣΗΕ και της G2 είναι σε φάση και η διαφορά δυναμικού στους ακροδέκτες του διακόπτη είναι 0. Έτσι το ρεύμα που ρέει από την G2 στο ΣΗΕ είναι 0, οπότε και η παρεχόμενη ισχύς στο δίκτυο είναι πάλι 0. Στην πράξη επειδή κάτι τέτοιο δεν είναι ποτέ δυνατόν

λαμβάνεται πρόνοια, ώστε η τάση και η συχνότητα της υπό σύνδεση γεννήτριας να είναι λίγο μεγαλύτερες από εκείνες του δικτύου, ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση η γεννήτρια G2 να απορροφήσει ισχύ από το δίκτυο. Κάτι τέτοιο προκαλεί λειτουργία της γεννήτριας σαν κινητήρα (motoring), και μπορεί να καταστρέψει την κινητήρια μηχανή.

5 Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος

Τα τελευταία 30 χρόνια στις εφαρμογές των ηλεκτρικών κινητήρων έχει συμβεί μια πραγματική επανάσταση. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών μονάδων οδήγησης (solid-state drive packages), έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο εξέλιξης, που είναι πλέον πρακτικά δυνατό να λυθεί οποιοδήποτε πρόβλημα ρύθμισης ισχύος. Με αυτές τις μονάδες οδήγησης είναι δυνατή η λειτουργία κινητήρων συνεχούς ρεύματος με πηγές εναλλασσόμενης τάσης, αλλά και η λειτουργία εναλλασσόμενων κινητήρων με πηγές συνεχούς τάσης. Είναι, επίσης, δυνατή η μετατροπή της εναλλασσόμενης ισχύος συγκεκριμένης συχνότητας σε εναλλασσόμενη ισχύ διαφορετικής συχνότητας.

Ακόμη, το κόστος των ηλεκτρονικών μονάδων οδήγησης έχει μειωθεί σημαντικά, ενώ η αξιοπιστία τους έχει βελτιωθεί. Οι πολλές δυνατότητες και το μικρό κόστος των ηλεκτρονικών μονάδων οδήγησης ή ελέγχου είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών νέων εφαρμογών για τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, με τις οποίες αυτοί οι κινητήρες μπορούν πια να κάνουν όλες τις εργασίες που έκαναν παλιότερα μόνο οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

5.1 Τα ηλεκτρονικά στοιχεία ισχύος

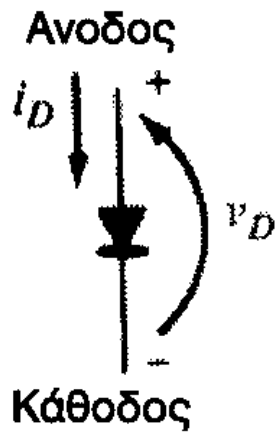
Στα κυκλώματα ελέγχου των κινητήρων χρησιμοποιούνται κάποιοι βασικοί ημιαγωγικών διατάξεων. Ανάμεσα σε αυτούς οι πιο σημαντικοί είναι:

1. Η δίοδος
2. Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου ή thyristor 3 επαφών (SCR)
3. Το transistor ισχύος (PTR)
4. Το διπολικό transistor με απομονωμένη πύλη (IGBT)

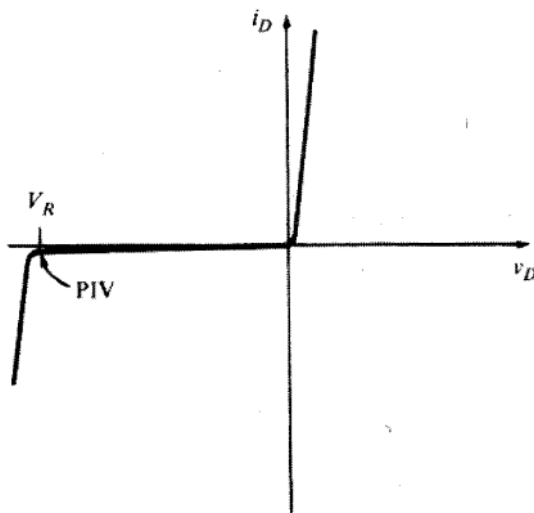
Εμείς θα ασχοληθούμε με τη δίοδο, το transistor ισχύος και τον πλήρη ανορθωτή. Αρχικά θα μελετήσουμε τη δίοδο.

5.1.1 Η δίοδος

Δίοδος (diode), είναι το ημιαγωγικό στοιχείο, που σχεδιάστηκε, ώστε να άγει μόνο κατά μία κατεύθυνση. Στο σχήμα βλέπουμε το σύμβολο της διόδου. Αυτό το στοιχείο είναι σχεδιασμένο, ώστε να άγει από την άνοδο προς την κάθοδο και όχι προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Δίοδος αντί ΣΧ. 3-1



Χαρακτηριστική Διόδου αντί ΣΧ. 3-2

Στο σχήμα δίνεται η v - i χαρακτηριστική της διόδου. Όταν στη δίοδο εφαρμόζεται τάση κατά την ορθή φορά αυτή διαρρέεται από μεγάλο ρεύμα.

Όταν η τάση που εφαρμόζεται έχει την ανάστροφη φορά το ρεύμα περιορίζεται σε μία μικρή τιμή (της τάξης των μA ή κάτι μικρότερο). Αν στη δίοδο εφαρμοστεί αρκετά μεγάλη ανάστροφη τάση, αυτή τελικά καταρρέει και επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος κατά την ανάστροφη φορά. Στη v - i χαρακτηριστική της διόδου φαίνονται αυτές οι 3 περιοχές λειτουργίας.

Οι προδιαγραφές των διόδων καθορίζονται από το ποσό ενέργειας που μπορούν να καταναλώσουν με ασφάλεια και από τη μέγιστη ανάστροφη τάση με την οποία μπορούν να λειτουργούν χωρίς να καταρρέουν. Η ισχύς που καταναλώνεται από μία δίοδο σε συνθήκες ορθής πόλωσης είναι ίση με την πτώση τάσης στα άκρα της επί το

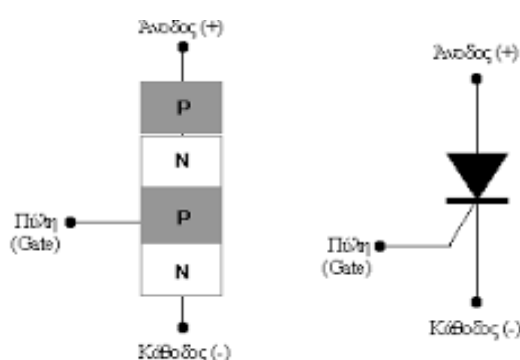
ρεύμα που τη διαρρέει. Αυτή η ισχύς πρέπει να περιορίζεται ώστε η διόδος να προστατεύεται από υπερθέρμανση. Η μέγιστη ανάστροφη τάση μιας διόδου ονομάζεται κορυφή της ανάστροφης τάσης (peak inverse voltage-PIV). Αυτή η κορυφή είναι αρκετά μεγάλη ώστε η διόδος να μην καταρρέει και να μην άγει κατά την ανάστροφη κατεύθυνση.

Ακόμη, οι διόδοι προδιαγράφονται και για το χρόνο μετάβασης (switching time). Ο χρόνος μετάβασης είναι ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την μετάβαση από την κατάσταση αγωγιμότητας στην κατάσταση αποκοπής και αντίστροφα.

Επειδή οι διόδοι ισχύος είναι στοιχεία μεγάλου μεγέθους και ισχύος, τα φορτία που συσσωρεύονται στις επαφές τους είναι μεγάλα και η μετάβαση τους από τη μια κατάσταση λειτουργίας στην άλλη είναι πιο αργή από τη μετάβαση των διόδων σήματος των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μικρής ισχύος.

5.1.2 Thyristor Τριών Επαφών ή Ελεγχόμενος Ανορθωτής Πυριτίου (SCR)

Το πιο σημαντικό μέλος της οικογένειας των thyristor είναι το thyristor τριών επαφών, που είναι γνωστό κι ως ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου. Το στοιχείο αυτό αναπτύχθηκε το 1958 από την General Electric Company . Σ' αυτήν ανήκει και η ονομασία SCR . Η ονομασία thyristor δόθηκε στο εξάρτημα αργότερα από την International Electrotechnical Commission . Το κυκλωματικό σύμβολο SCR φαίνεται στο σχήμα14.



Σχ. 14 Δομή SCR και το κυκλωματικό του σύμβολο.

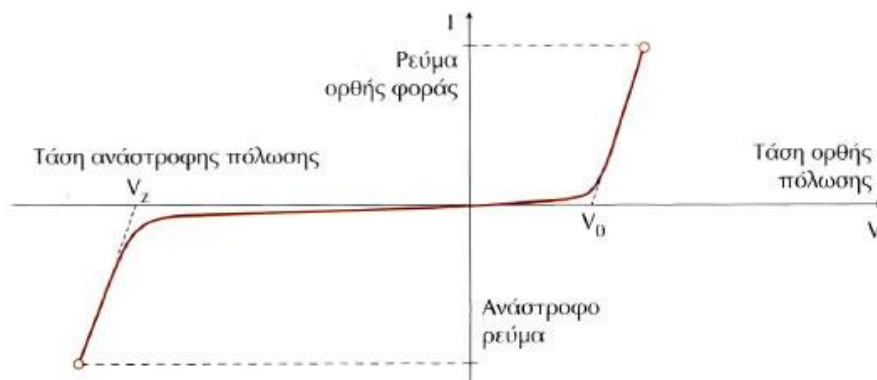
Όπως φανερώνει και το όνομα του , πρόκειται για έναν ελεγχόμενο ανορθωτή ή διόδο. Η χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος του εξαρτήματος, όταν λειτουργεί με την πύλη ανοικτή , είναι όμοια με αυτή της διόδου PNP.

Το χαρακτηριστικό του SCR , που το κάνει ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές ελέγχου κινητήρων, είναι το ότι η ορθή τάση κατάρρευσης του εξαρτήματος έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζεται από το ρεύμα που εφαρμόζεται στην πύλη. Όσο μεγαλύτερο γίνεται το ρεύμα της πύλης , τόσο μικρότερη γίνεται η τάση .Αν ένα SCR επιλέγει, ώστε η ορθή τάση κατάρρευσης χωρίς ρεύμα στην πύλη να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τάση του κυκλώματος , τότε αυτό είναι δυνατό να άγει, μόνο όταν στην πύλη εφαρμόζεται κάποιο ρεύμα. Μετά την έναυση του SCR αυτό άγει , μέχρις ότου το ρεύμα γίνει μικρότερο από το I_H . Έτσι , αφού το SCR σκανδαλιστεί , το ρεύμα μπορεί να πάψει να εφαρμόζεται στην πύλη , χωρίς να επηρεαστεί η κατάσταση αγωγιμότητας. Στην κατάσταση αγωγιμότητας η πτώση τάσης στα άκρα του SCR είναι 1,2 έως 1,5 φορές μεγαλύτερη από την πτώση τάσης στα άκρα της ορθά πολωμένης διόδου.

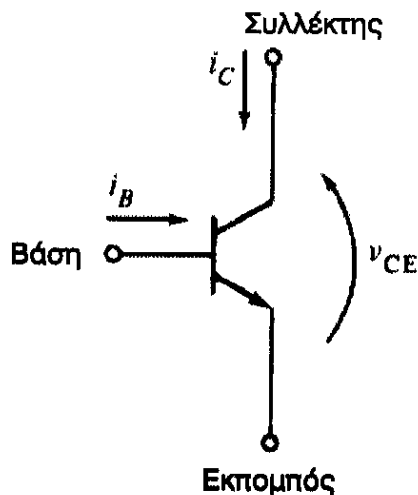
Τελικά ,τα SCR είναι τα πιο κοινά εξαρτήματα από αυτά που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα ελέγχου ισχύος. Η χρήση τους είναι πολύ διαδεδομένη σε κυκλώματα διακοπών ή ανόρθωσης και στις μέρες μας είναι διαθέσιμα με ονομαστικά ρεύματα που κυμαίνονται από μερικά A μέχρι περίπου 3000 A.

Συνοψίζοντας το SCR :

1. Αρχίζει να άγει , όταν η τάση V_D , που εφαρμόζεται στα άκρα του, υπερβαίνει την V_{BO}
2. Διαθέτει μια ορθή τάση διάσπασης V_{BO} , το επίπεδο της οποίας ελέγχεται από το ρεύμα της πύλης i_D του SCR
3. Αποκόπτεται, όταν το ρεύμα i_D , που το διαρρέει, γίνει μικρότερο από το I_H
4. Δεν άγει κατά την ανάστροφη φορά, μέχρις ότου ξεπεραστεί η μέγιστη ανάστροφη τάση

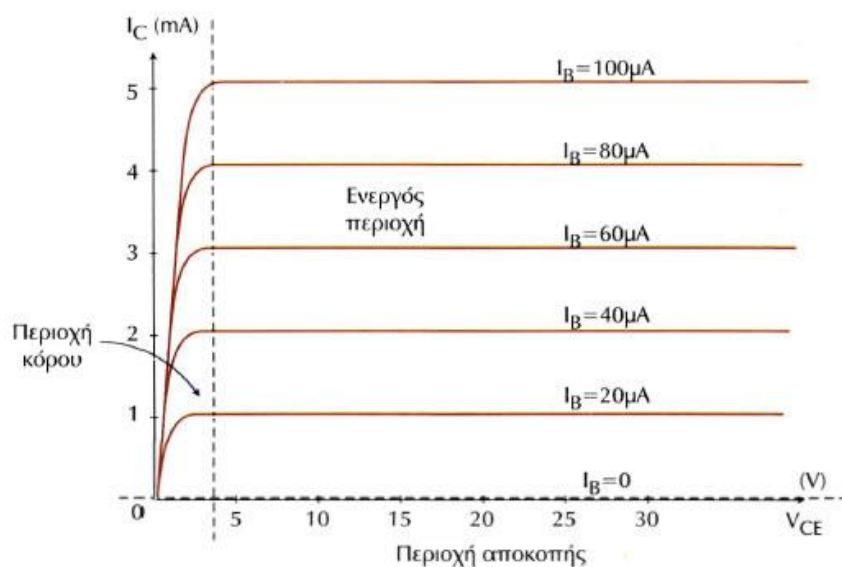


5.1.3 Transistor ισχύος



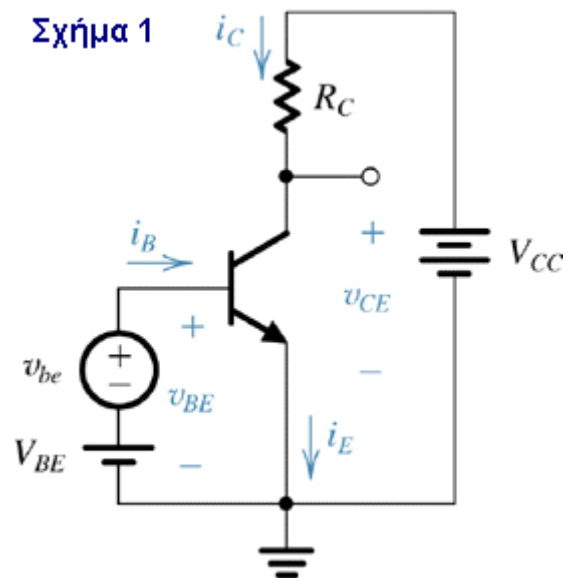
Το Transistor ισχύος

α) Κυκλωματικό σύμβολο του transistor ισχύος.

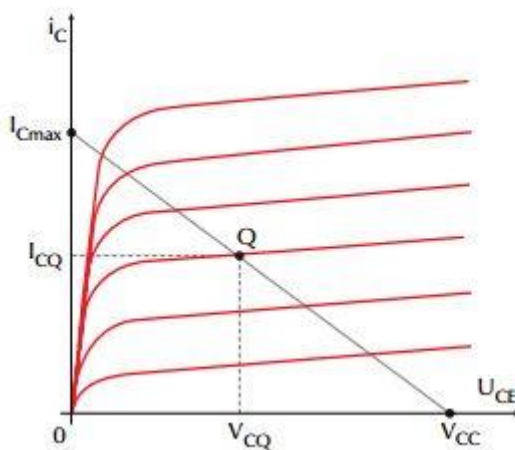


β) v-i χαρακτηριστική του transistor ισχύος

Το σχήμα παρακάτω, δείχνει το κυκλωματικό σύμβολο του transistor ισχύος, ενώ το σχήμα παραπάνω φαίνονται οι v-i χαρακτηριστικές εκπομπού συλλέκτη. Όπως βλέπουμε στο σχήμα παραπάνω, το ρεύμα συλλέκτη i_c στο transistor είναι ανάλογο του ρεύματος στη βάση του i_B , για κάποιο μεγάλο εύρος τιμών της τάσης εκπομπού συλλέκτη (v_{CE}).



γ) Ένα transistor με ωμικό φορτίο



δ) v - i χαρακτηριστικές του transistor και του φορτίου

Τα transistor ισχύος (PTR) χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στον έλεγχο ηλεκτρικών μηχανών ως διακόπτες. Στο σχήμα (γ) φαίνεται ένα transistor συνδεδεμένο με κάποιο ωμικό φορτίο και στο σχήμα (δ) φαίνεται η καμπύλη i_C - v_{CE} του transistor μαζί με την v - i χαρακτηριστική του φορτίου. Τα transistor χρησιμοποιούνται για να διακόπτουν τελείως ή να επιτρέπουν τη ροή του ρεύματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα (δ) ένα ρεύμα βάσης i_{B4} φέρνει το transistor σε πλήρη κατάσταση αγωγιμότητας, ενώ ο μηδενισμός του ρεύματος βάσης το αποκόπτει τελείως.

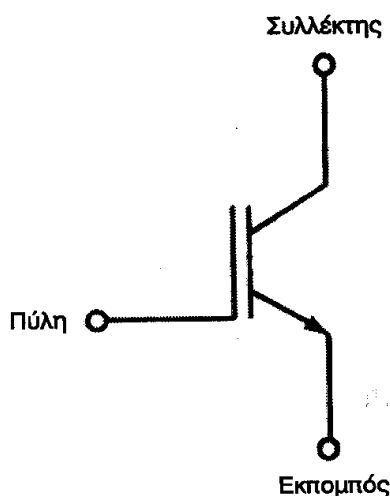
Αν το ρεύμα βάσης του transistor ήταν ίσο με i_{B3} , τότε το transistor δε θα βρισκόταν ούτε πλήρως στην αγωγιμότητα, ούτε πλήρως στην αποκοπή. Αυτή είναι μία πολύ ανεπιθύμητη κατάσταση λειτουργίας, αφού το μεγάλο ρεύμα συλλέκτη σε συνδυασμό

με τη μεγάλη τάση συλλέκτη εκπομπού θα είχε ως αποτέλεσμα τη μεγάλη κατανάλωση ισχύος στο εσωτερικό του transistor. Για να είναι σίγουρο ότι το transistor άγει, χωρίς να καταναλώνει μεγάλη ισχύ, είναι απαραίτητη η οδήγηση του με αρκετά μεγάλο ρεύμα δράσης, ώστε να οδηγείται πλήρως στον κορεσμό.

Τα transistor ισχύος χρησιμοποιούνται συνήθως σε κυκλώματα αντιστροφών (inverters). Το σημαντικό μειονέκτημα των transistor μεγάλης ισχύος ως διακοπών είναι η σχετική αργή μετάβαση από την κατάσταση αγωγιμότητας στην κατάσταση αποκοπής και αντίστροφα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη μετάβαση εφαρμόζονται ή απομακρύνονται σχετικά μεγάλα ρεύματα βάσης.

5.1.4 Διπολικό Transistor Απομονωμένης Πύλης

Το διπολικό transistor απομονωμένης πύλης είναι ο συνδυασμός ενός transistor μετάλλου- οξειδίου-ημιαγωγού με επίδραση πεδίου και ενός transistor ισχύος. Στο σχήμα φαίνεται το κυκλωματικό σύμβολο του IGBT. Από την πλευρά της εισόδου το IGBT συμπεριφέρεται ως MOSFET , ενώ από την πλευρά της εξόδου συμπεριφέρεται ως transistor ισχύος.



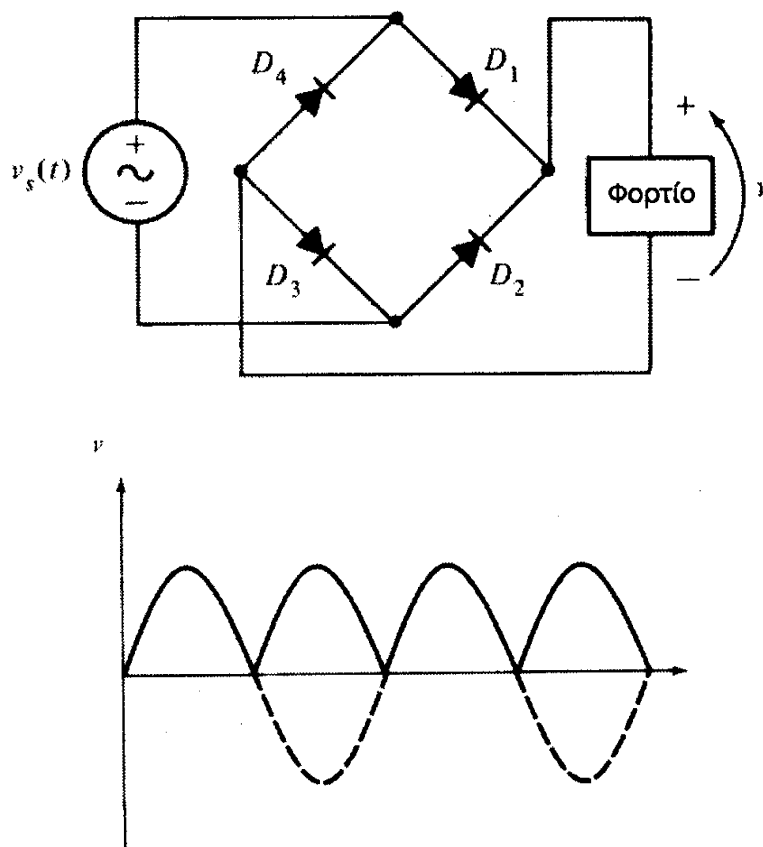
Το IGBT είναι ένα σχετικά νέο στοιχείο. Συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο , όπως το τρανζίστορ ισχύος , με τη διαφορά ότι ελέγχεται από την τάση που εφαρμόζεται στην πύλη του, παρά από το ρεύμα της βάσης , όπως συμβαίνει στο τρανζίστορ ισχύος. Η σύνθετη αντίσταση της πύλης το IGBT είναι πολύ μεγάλη , με αποτέλεσμα το ρεύμα της πύλης να είναι εξαιρετικά μικρό. Επειδή το IGBT ελέγχεται από τάση στην πύλη, η οποία διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα, έχει τη δυνατότητα να αλλάζει κατάσταση πολύ πιο γρήγορα απ' ότι το τρανζίστορ ισχύος. Γι' αυτό το λόγο τα IGBT χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλης ισχύος και υψηλής συχνότητας.

5.2 Βασικά κυκλώματα ανορθωτών

Ο ανορθωτής είναι κύκλωμα που μετατρέπει εναλλασσόμενη ισχύ σε συνεχή. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά κυκλώματα ανορθωτών που παράγουν συνεχή έξοδο με διαφορετικό βαθμό εξομάλυνσης το καθένα. Τα πιο κοινά κυκλώματα ανόρθωσης είναι τα παρακάτω

- Γέφυρα πλήρους ανόρθωσης
- Τριφασικός ανορθωτής
- Πλήρης τριφασικός ανορθωτής

Εμείς θα εξετάσουμε τον πλήρη ανορθωτή. Το κύκλωμα της γέφυρας πλήρους ανόρθωσης φαίνεται στο σχήμα (α) παρακάτω, ενώ στο σχήμα (β) φαίνεται η τάση στη έξοδο του κυκλώματος. Εδώ, οι διόδους D_1 και D_3 άγουν κατά τη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου, ενώ οι



D_2 και D_4 άγουν κατά την αρνητική ημιπερίοδο. Η τάση εξόδου του κυκλώματος είναι πιο ομαλή σε σχέση με την τάση εξόδου του ημιανορθωτή, αλλά περιέχει ακόμα εναλλασσόμενες συνιστώσες στα 120Hz και στις αρμονικές συχνότητες. Η κυμάτωση

ενός τέτοιου ανορθωτή είναι $r = 48,2\%$ και προφανώς είναι πολύ καλύτερη από την κυμάτωση του ημιανορθωτή.

Το σχήμα (β) δείχνει ένα διαφορετικό πλήρη ανορθωτή. Σε αυτό το κύκλωμα η δίοδος D_1 άγει κατά τη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου και το ρεύμα επιστρέφει μέσω της μεσαίας λήψης του μετασχηματιστή, ενώ η δίοδος D_2 άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο και το ρεύμα επιστρέφει μέσω της μεσαίας λήψης του μετασχηματιστή. Η κυματομορφή εξόδου είναι ακριβώς ίδια με αυτή του σχήματος (γ).

5.3 Κυκλομετατροπείς

Ο κυκλομετατροπέας είναι μια διάταξη για την απευθείας μετατροπή εναλλασσόμενης ισχύος μιας συχνότητας σε εναλλασσόμενη ισχύ μιας άλλης συχνότητας. Αν ο κυκλομετατροπέας συγκριθεί με τις διατάξεις των ανορθωτών – αντιστροφών, φαίνεται ότι απαιτεί περισσότερα SCR και πολύ πιο περίπλοκη συνδεσμολογία στα κυκλώματα έναυσης. ανεξάρτητα από αυτά τα μειονεκτήματα οι κυκλομετατροπείς μπορεί να είναι πιο φθηνοί από τους ανορθωτές – αντιστροφείς και να λειτουργούν με μεγαλύτερη ισχύ.

Στις μέρες μας είναι διαθέσιμοι οι κυκλομετατροπείς σταθερής συχνότητας και μεταβλητής συχνότητας. Ένας κυκλομετατροπέας σταθερής συχνότητας χρησιμοποιείται για να προσφέρει ισχύ με κάποια συχνότητα από μια πηγή διαφορετικής συχνότητας. Οι κυκλομετατροπείς μεταβλητής συχνότητας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεταβλητής τάσης και συχνότητας από μια πηγή σταθερής τάσης και συχνότητας. Τέτοιοι μετατροπείς χρησιμοποιούνται συχνά ως μονάδες οδήγησης επαγωγικών κινητήρων.

Αν και οι λεπτομέρειες ενός κυκλομετατροπέα μπορεί να είναι πολύπλοκες, η βασική ιδέα για τη λειτουργία της διάταξης είναι απλή. Η είσοδος του κυκλομετατροπέα είναι μια τριφασική πηγή που αποτελείται από τρεις τάσεις ίσες σε πλάτος και με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους. Η επιθυμητή τάση εξόδου είναι κάποια συγκεκριμένη κυματομορφή, συνήθως ένα ημίτονο διαφορετικής συχνότητας. Ο κυκλομετατροπέας παράγει την επιθυμητή κυματομορφή εξόδου με την επιλογή εκείνου του συνδυασμού των τριών φάσεων εισόδου, που σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή προσεγγίζει καλύτερα την επιθυμητή τάση εξόδου.

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες κυκλικών μετατροπών: οι κυκλομετατροπείς χωρίς παρασιτικό ρεύμα και οι κυκλομετατροπείς παρασιτικού ρεύματος. Αυτές οι κατηγορίες διακρίνονται μεταξύ τους από το αν το ρεύμα κυκλοφορεί στο εσωτερικό του κυκλομετατροπέα και παρουσιάζουν διαφορετικές χαρακτηριστικές.

5.4 Πηνίο:

Για ένα πηνίο με αυτεπαγωγή L η τάση είναι ανάλογη της χρονικής μεταβολής του ρεύματος.

$$v(t) = L * \frac{di(t)}{dt}$$

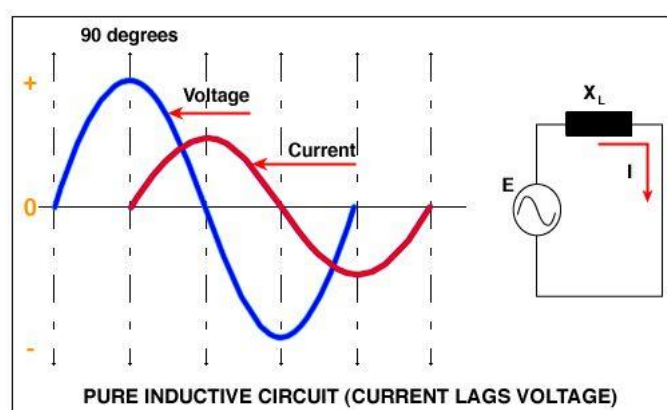
Η παραγωγή στο πεδίο του χρόνου ισοδυναμεί στο πεδίο της συχνότητας με πολλαπλασιασμό επί τον όρο $j\omega$. Επομένως, η σχέση τάσης ρεύματος του πηνίου στο πεδίο της συχνότητας θα είναι:

$$V = j * \omega * L * I = jX_L * I$$

Το μέγεθος $jX_L = j\omega L$ έχει μονάδες αντίστασης και ονομάζεται επαγωγική αντίδραση του πηνίου αυξάνεται με τη συχνότητα. Στο συνεχές ρεύμα ($\omega=0$) το πηνίο έχει αντίδραση ίση με το μηδέν και το πηνίο ισοδυναμεί με βραχυκύκλωμα. Μια άλλη χρήσιμη παρατήρηση που προκύπτει από αυτή τη σχέση είναι ότι η τάση και το ρεύμα σε ένα πηνίο δεν είναι συμφασικά διανύσματα αλλά υπάρχει μεταξύ τους μία διαφορά φάσης που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του ρεύματος με τον όρο $j\omega L$. Η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος υπολογίζεται ως:

$$\varphi = \tan^{-1} * \left(\frac{\omega * L}{0} \right) = \tan^{-1} (\infty) = 90^\circ$$

Αυτό σημαίνει ότι σε ένα πηνίο το ρεύμα έπεται της τάσης κατά 90° , όπως βλέπουμε στο σχήμα παρακάτω:



5.5 Πυκνωτής:

Σε έναν πυκνωτή η σχέση τάσης-ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$V(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

Ο μετασχηματισμός της σχέσης αυτής στο πεδίο συχνότητας είναι ο εξής:

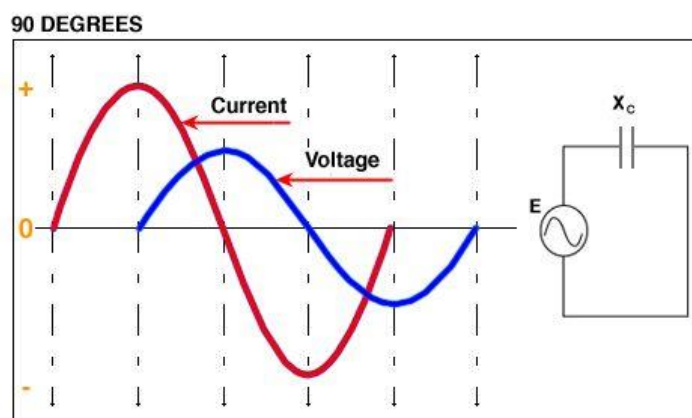
$$V = \frac{1}{j\omega C} * I = \frac{1}{jX_C} * I$$

Το μέγεθος $X_C = 1/j\omega C$ έχει μονάδες αντίστασης και ονομάζεται χωρητική αντίδραση. Η αντίδραση ενός πυκνωτή ελαττώνεται με τη συχνότητα. Στο συνεχές ρεύμα ($\omega=0$) η αντίδραση είναι άπειρη και ο πυκνωτής ισοδυναμεί με ανοιχτό κύκλωμα.

Από την παραπάνω σχέση είναι φανερό ότι ο όρος $1/j\omega C = -j/\omega C$ εισάγει διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος. Η διαφορά φάσης είναι:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{-1/\omega C}{0}\right) = \tan^{-1}(\infty) = -90^\circ$$

Αυτό σημαίνει πως σε έναν πυκνωτή το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά 90° , όπως βλέπουμε στο σχήμα παρακάτω:



5.6 Τεχνική βελτίωσης του συντελεστή ισχύος

Ως συντελεστής ισχύος (PF) ορίζεται ο λόγος της ενεργού ισχύος προς την φαινόμενη ισχύ όπως φαίνεται από τη σχέση (1) και καθορίζει το ποσοστό της φαινόμενης ισχύος το οποίο μετατράπηκε σε ωφέλιμο έργο. Προφανώς όσο μικρότερος είναι αυτός, τόσο μεγαλύτερη είναι η άεργος ισχύς.

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{U_{rms} * I_{rms}} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} * \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}} \quad (1)$$

Συμβολίζονται με: P η ενεργός ισχύς στην πλευρά του δικτύου, S η φαινόμενη ισχύς του δικτύου, $u(t)$ η στιγμιαία τιμή της τάσης του δικτύου, $i(t)$ η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στην πλευρά του δικτύου και T η περίοδος της κυματομορφής της τάσης του δικτύου.

Στην περίπτωση όπου η τάση του δικτύου μπορεί να θεωρηθεί καθαρό ημίτονο, ισχύει

$$P=U_{rms}*I_{1rms}*\cos\varphi_1 \quad (2)$$

καθώς, όπως αναφέρθηκε μόνο η πρώτη αρμονική του ρεύματος είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση ενεργού ισχύος. Για τον συντελεστή ισχύος διατυπώνεται η σχέση

$$PF=\frac{U_{rms}*I_{1rms}*\cos\varphi_1}{U_{rms}*I_{rms}}=\frac{I_{1rms}}{I_{rms}}*\cos\varphi_1 \quad (3)$$

όπου I_{1rms} είναι η ενεργός τιμή της πρώτης αρμονικής του ρεύματος και I_{rms} η ενεργός τιμή του συνόλου των αρμονικών η οποία περιγράφεται με τη μαθηματική σχέση:

$$I_{rms}=\sqrt{I_{rms}^2 + \sum_{h=2}^{\infty} I_{hrms}^2} \quad (4)$$

Στην παρούσα εργασία η διαφορά φάσης φ_1 υπολογίζεται από τη σχέση (3) καθώς αυτή ισχύει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, όπως φάνηκε στο τέλος της προηγούμενης ενότητας.

Ορίζεται ως THD (total harmonic distortion) ή ολική αρμονική παραμόρφωση ο λόγος

$$THD=\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{hrms}^2}}{I_{1rms}} \quad (5)$$

ο οποίος καθορίζει το ποσοστό των ανώτερων αρμονικών ως προς τη βασική αρμονική.

Είναι προφανές ότι όσο μικρότερος είναι ο λόγος THD, τόσο η κυματομορφή του ρεύματος πλησιάζει στην ημιτονοειδή μορφή. Ισχύει για τον συντελεστή ισχύος

$$PF=\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{(1+(THD)^2)}} \quad (6)$$

που σημαίνει ότι ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τη μετατόπιση της βασικής αρμονικής του ρεύματος ως προς την τάση ($\cos\varphi_1$), καθώς και από το περιεχόμενο των ανώτερων αρμονικών.

6 Μέγιστη μεταφορά Ενέργειας

6.1 Νόμος του Ohm στο εναλλασσόμενο ρεύμα:

A. Κυκλώματα με απλούς καταναλωτές:

6.2 Απλοί καταναλωτές:

Απλοί καταναλωτές στο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζονται οι εξής τρεις:

α) Καταναλωτής, παρουσιάζει μόνο ωμική αντίσταση. Ο καταναλωτής αυτός ονομάζεται ωμικός καταναλωτής. Κάθε ωμικός καταναλωτής έχει αμελητέο συντελεστή αυτεπαγωγής και δε συμπεριλαμβάνει πυκνωτές. Ωμικοί καταναλωτές είναι οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως, τα σίδηρα σιδερώματος, οι ηλεκτρικές θερμάστρες, οι ηλεκτρικές κουζίνες, οι ηλεκτρικοί φούρνοι με αντιστάσεις και οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες.

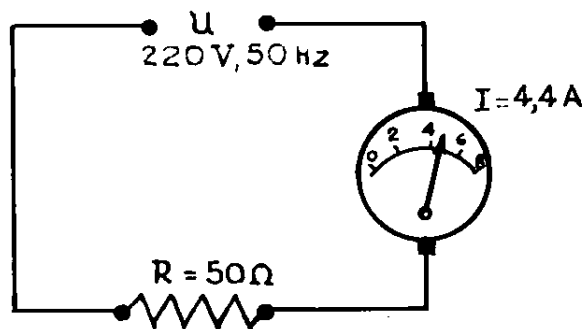
β) Καταναλωτής, παρουσιάζει μόνο αυτεπαγωγή. Ο καταναλωτής αυτός ονομάζεται επαγωγικός καταναλωτής. Ένας επαγωγικός καταναλωτής έχει αμελητέα ωμική αντίσταση και δεν περιλαμβάνει πυκνωτές. Επαγωγικοί καταναλωτές είναι τα πηνία, όταν είναι κατασκευασμένα από σύρμα τόσο μεγάλης διατομής, ώστε η ωμική αντίσταση του σύρματος να είναι πολύ μικρή.

γ) Καταναλωτής, ο οποίος παρουσιάζει μόνο χωρητικότητα. Ο καταναλωτής αυτός ονομάζεται χωρητικός καταναλωτής. Ένας χωρητικός καταναλωτής έχει αμελητέα ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή. Χωρητικοί καταναλωτές είναι οι πυκνωτές.

6.3 Κύκλωμα με ωμικό καταναλωτή:

Όταν σε ωμικό καταναλωτή αντίστασης R Ωμ, εφαρμόσουμε μια εναλλασσόμενη τάση τιμής U βολτ (σχήμα 27.2) διαπιστώνουμε με ένα αμπερόμετρο ότι διαμέσου του κυκλώματος κυκλοφορεί ρεύμα ενδεικνυόμενης τιμής:

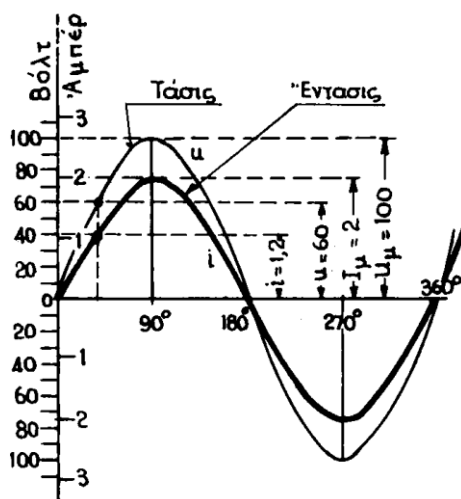
$$I = \frac{U}{R} \text{ (A)}$$



Σχήμα 27.2α

Καταλαβαίνουμε ότι, σε έναν ωμικό καταναλωτή ο νόμος του $\Omega\mu$ εφαρμόζεται με τις ενδεικνυόμενες τιμές της τάσης και της έντασης.

Ο νόμος του $\Omega\mu$ δεν ισχύει μόνο για τις ενδεικνυόμενες τιμές, αλλά και για τις στιγμιαίες. Κάθε στιγμή η ένταση του ρεύματος είναι ίση με το πηλίκο της τάσης, κατά τη στιγμή αυτή, προς την αντίσταση του καταναλωτή. Τη στιγμή δηλαδή που μηδενίζεται η τάση, μηδενίζεται και η ένταση. Όταν αυξάνεται η τάση, αυξάνεται ανάλογα και η ένταση. Όταν η τάση φτάνει στη μέγιστη θετική τιμή, η ένταση φτάνει και αυτή την μέγιστη θετική τιμή της. Όταν αλλάζει η φορά της τάσης, αλλάζει και η φορά του ρεύματος. Η ένταση κάθε στιγμή είναι και πάλι ανάλογη της τάσης κατά τη στιγμή αυτή.

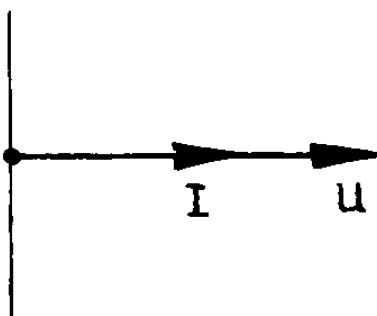


Τονίζουμε ότι: Οι μεταβολές της έντασης είναι ανάλογες με τις μεταβολές της τάσης, τότε λέμε ότι το ρεύμα είναι σε φάση με τη τάση. Επομένως:

α) Το ρεύμα, διαμέσου ενός ωμικού καταναλωτή, έχει την ίδια συχνότητα με την συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης στα άκρα του και είναι σε φάση με αυτήν.

β) Η ενδεικνυόμενη τιμή της έντασης του ρεύματος είναι ίση με το πηλίκο της ενδεικνυόμενης τιμής της τάσης προς την ωμική αντίσταση του καταναλωτή, δηλαδή $I=U/R$.

Τάση και ένταση παριστάνονται διανυσματικά στο σχήμα 27.2γ. Αφού η ένταση είναι σε φάση με την τάση, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ τους είναι ίση με 0 μοίρες. Επομένως τάση και ένταση βρίσκονται πάνω σε αυτή την κοινή ευθεία.



Σχήμα 27.2γ

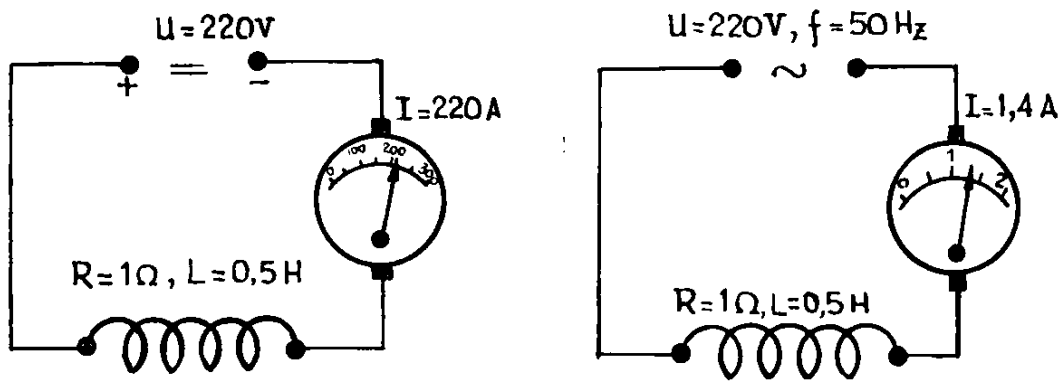
6.4 Κύκλωμα με επαγωγικό καταναλωτή:

Όταν στα άκρα ενός πηνίου αμελητέας ωμικής αντίστασης εφαρμόσουμε μία συνεχή τάση U (σχήμα 27.3α), η ένταση του ρεύματος διαμέσου του πηνίου αποκτά πολύ μεγαλύτερη τιμή. Αυτό συμβαίνει, επειδή η αυτεπαγωγή του πηνίου επηρεάζει τη ροή του συνεχούς ρεύματος μόνο κατά τις πρώτες στιγμές της εφαρμογής, δηλαδή μόνο κατά τον βραχύτερο χρόνο της αποκατάστασης του ρεύματος. Αμέσως μετά το ρεύμα λαμβάνει την τιμή $I=U/A$.

Όταν όμως εφαρμόσουμε στα άκρα του ίδιου πηνίου μια εναλλασσόμενη τάση ενδεικνυόμενης τιμής U , ίσης προς την τάση του συνεχούς ρεύματος, παρατηρούμε ότι το αμπερόμετρο δείχνει τώρα πολύ μικρότερη ένταση. (Σχήμα 27.3β)

Το πηνίο δηλαδή παρουσιάζει στο εναλλασσόμενο ρεύμα πολύ μεγαλύτερη αντίσταση, από όση παρουσιάζει στο συνεχές.

Αυτό όμως είναι μόνο φαινομενικό. Στην πραγματικότητα η ωμική αντίσταση του πηνίου παραμένει ίδια. Επειδή όμως το ρεύμα, το οποίο διέρχεται δι' αυτού, είναι εναλλασσόμενο, το μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται στο πηνίο, μεταβάλλεται συνεχώς. Οι μεταβολές αυτές του μαγνητικού πεδίου προκαλούν την ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης από την αυτεπαγωγή στο εσωτερικό του πηνίου.



Σχήμα 27.3α

Σε περίπτωση επομένως εναλλασσόμενου ρεύματος, η ηλεκτρεγερτική δύναμη από την αυτεπαγωγή αναπτύσσεται συνεχώς στο εσωτερικό του πηνίου. Στη συνεχή αυτή ανάπτυξη της ηλεκτρεγερτικής δύναμης οφείλεται ο περιορισμός της έντασης του ρεύματος στο εσωτερικό του πηνίου, διότι όπως θα αναφέρουμε παρακάτω, η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι αντίθετη της τάσης η οποία εφαρμόζεται στο πηνίο.

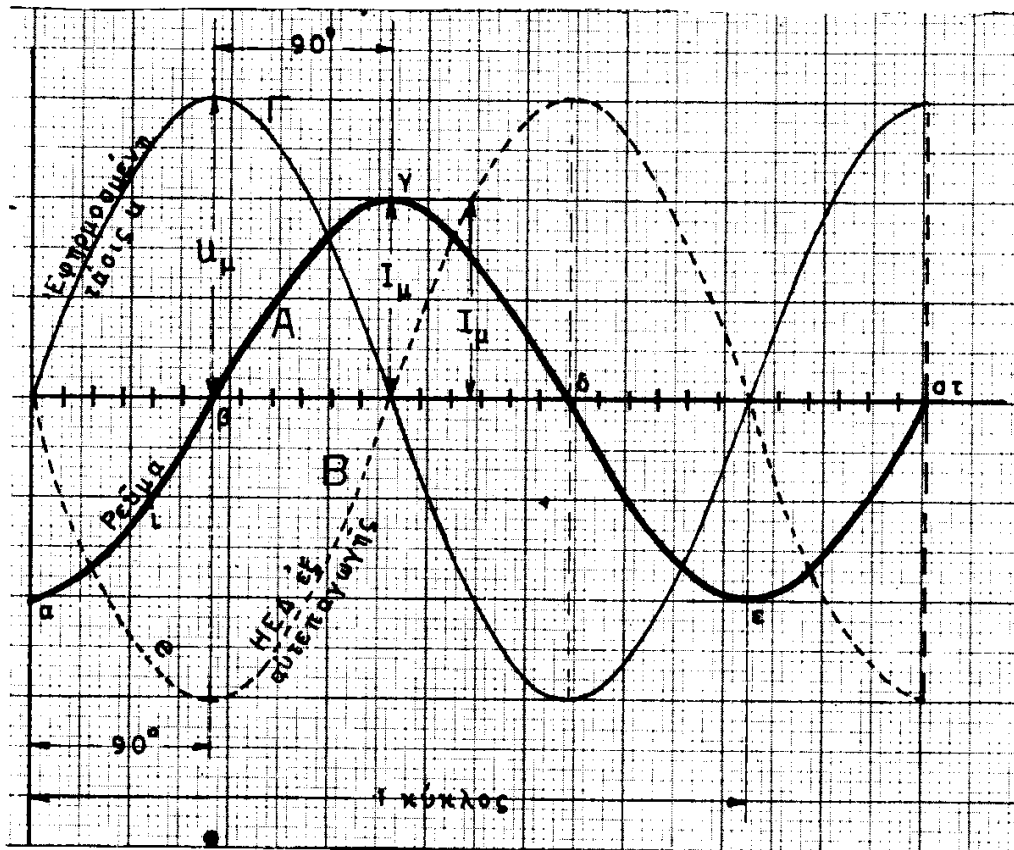
Αποδεικνύεται ότι:

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι ημιτονοειδής, έχει την ίδια συχνότητα με το ρεύμα που τη δημιουργεί και καθυστερεί ως προς αυτό κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες, δηλαδή κατά ένα τέταρτο της περιόδου.

Οι καμπύλες A και B του σχήματος 27.3γ παριστάνουν το φαινόμενο. Η καμπύλη B, η οποία αντιστοιχεί στην ηλεκτρεγερτική δύναμη καθυστερεί, ως προς την καμπύλη A του ρεύματος κατά 90 μοίρες.

- Στο πηνίο ενεργούν επομένως 2 τάσεις:

1^η) Η εφαρμοσμένη τάση στιγμιαίων τιμών και 2^η) η ηλεκτρεγερτική δύναμη, στιγμιαίων τιμών. Με βάση το δεύτερο νόμο του Κίρχωφ πρέπει κάθε στιγμή να ισχύει η ισότητα $u+e=Ri$.



Σχήμα 27.3γ

Επειδή όμως η ωμική αντίσταση του πηνίου είναι αμελητέα, δηλαδή $R=0$ $\omega\mu$, πρέπει κάθε στιγμή να ισχύει η ισότητα $u+e=0$, δηλαδή $u=-e$. Αυτό σημαίνει ότι κάθε στιγμή η τιμή της u της εφαρμοζόμενης τάσης πρέπει να είναι ίση και αντίθετη της τιμής e της ηλεκτρεγερτικής δύναμης κατά την ίδια στιγμή.

Η καμπύλη Γ του σχήματος 27.3γ πληροί αυτήν την προϋπόθεση, αφού σε κάθε τιμή της αντιστοιχεί μία ίση και αντίθετη τιμή της καμπύλης B της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, άρα κάθε στιγμή $u+e=0$.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη Γ της εφαρμοζόμενης τάσης προπορεύεται της καμπύλης A του ρεύματος κατά 90° , δηλαδή κατά το ένα τέταρτο της περιόδου. Καταλήγουμε στο εξής βασικό συμπέρασμα:

Στον επαγωγικό καταναλωτή με αμελητέα ωμική αντίσταση, η εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα του καταναλωτή προπορεύεται κατά ένα τέταρτο της περιόδου του ρεύματος, το οποίο κυκλοφορεί διαμέσου αυτού.

Το ρεύμα, το οποίο κυκλοφορεί διαμέσου ενός επαγωγικού καταναλωτή, έχει τέτοια μέγιστη τιμή, ώστε κάθε στιγμή οι μεταβολές του $i_2 - i_1$ να αναπτύσσουν ηλεκτρεγερτική δύναμη $e=L*\frac{i_2 - i_1}{t}$, ίση προς την τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης, κατά την ίδια στιγμή.

Αποδεικνύεται ότι η μέγιστη αυτή τιμή του ρεύματος είναι $I_\mu = U_\mu / L_\omega$, δηλαδή η ενδεικνυόμενη τιμή του ρεύματος είναι:

$$I = \frac{U}{L\omega}$$

όπου:

U_μ και U είναι αντιστοίχως η μέγιστη και η ενδεικνυόμενη τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης.

L είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής του καταναλωτή.

$\omega=2\pi f$ είναι η κυκλική συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης.

Ο παρανομαστής $L\omega$ των παραπάνω σχέσεων ονομάζεται αυτεπαγωγική αντίσταση καταναλωτή. Η αυτεπαγωγική αντίσταση μετριέται σε μονάδες $\omega\mu$, ενώ το L εκφράζεται σε ανρυ και συμβολίζεται στους υπολογισμούς με το X_L , δηλαδή:

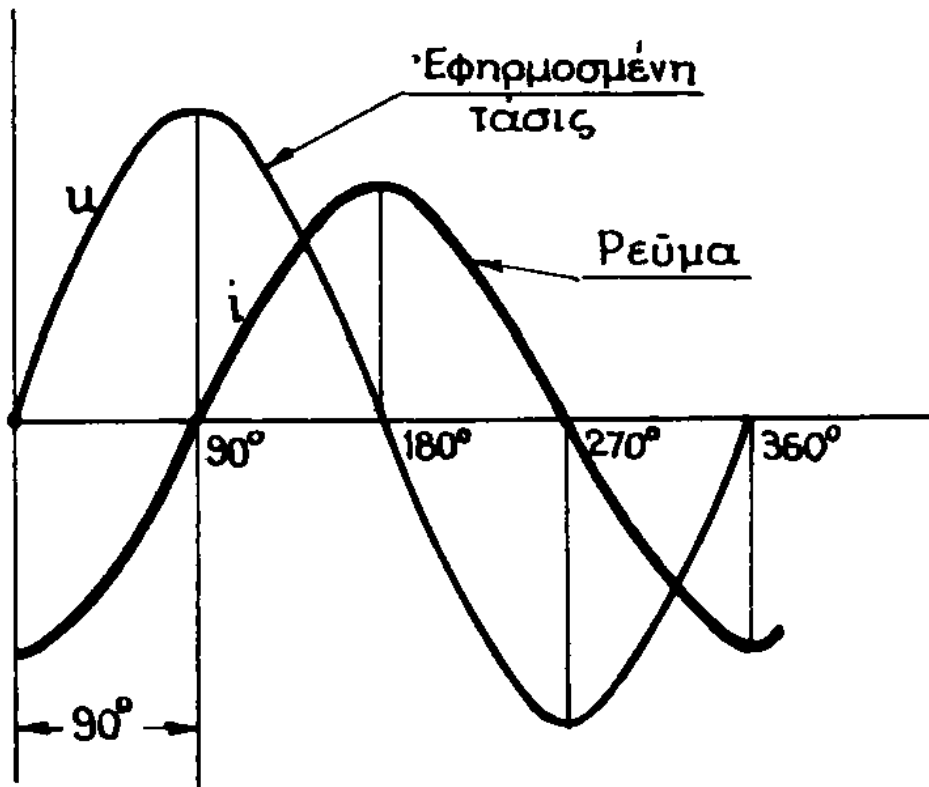
$$X_L=L\omega=L2\pi f (\Omega).$$

Η αυτεπαγωγική αντίσταση X_L επαγωγικού καταναλωτή είναι επομένως ανάλογη του συντελεστή αυτεπαγωγής L του καταναλωτή και της συχνότητας f ($\omega=2\pi f$) της εφαρμοζόμενης τάσης στα άκρα του.

Ανακεφαλαιώνουμε τα παραπάνω και καταλήγουμε στα εξής:

Όταν εφαρμόσουμε στα άκρα επαγωγικού καταναλωτή, με συντελεστή αυτεπαγωγής L ανρυ και αμελητέας ωμικής αντίστασης, μια εναλλασσόμενη τάση συχνότητας f Hz και ενδεικνυόμενης τιμής U βολτ:

1^{ov}) Διαμέσου του καταναλωτή κυκλοφορεί εναλλασσόμενο ρεύμα ίδιας συχνότητας f με τη συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης, το οποίο καθυστερεί ως προς την εφαρμοσμένη αυτή τάση κατά ένα τέταρτο της περιόδου. (σχήμα 27.3δ)



Σχήμα 27.3δ

2^ο) Το ρεύμα έχει ενδεικνυόμενη ένταση:

$$I = \frac{U}{L\omega} = \frac{U}{L2\pi f} = \frac{U}{XL} \text{ (A)}$$

όπου:

L είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής του καταναλωτή, σε ανρύ.

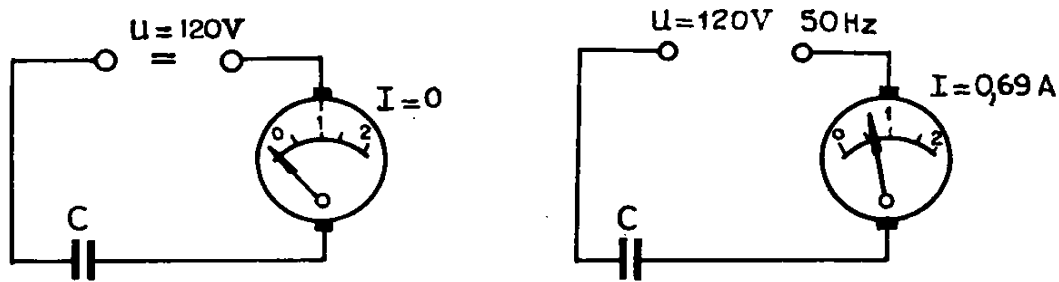
f είναι η συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης στον καταναλωτή σε Hz.

$X_L = L\omega = L2\pi f$ είναι η αυτεπαγωγική αντίσταση του καταναλωτή σε $\omega\mu$.

$$2\pi = 3.14 * 2 = 6.28.$$

6.5 Κύκλωμα με χωρητικό καταναλωτή:

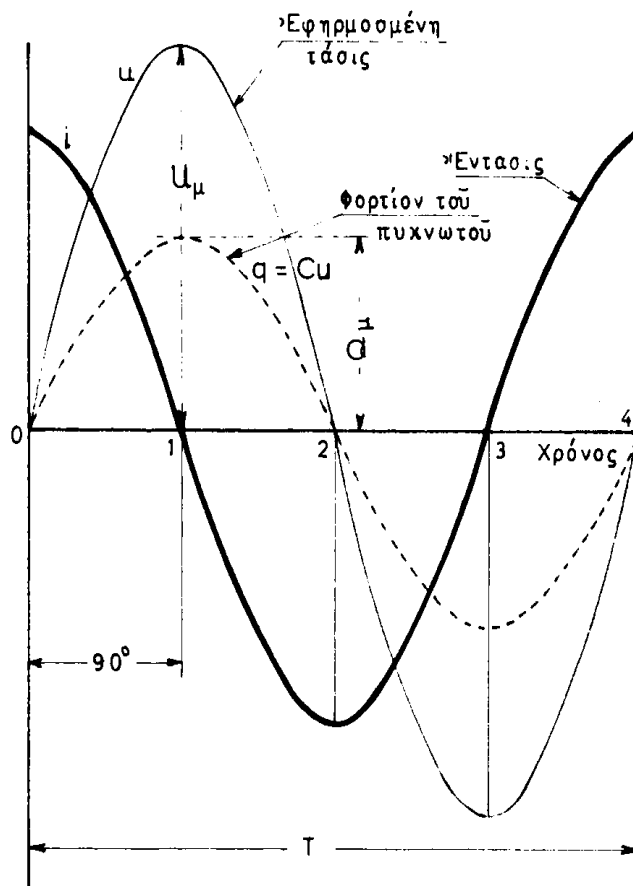
Μας είναι γνωστό ότι, όταν εφαρμόσουμε μια συνεχή τάση σε πυκνωτή (σχήμα 27.4α), ρεύμα κυκλοφορεί μόνο κατά τον βραχύτατο χρόνο της φόρτισης του πυκνωτή. Μόλις ο πυκνωτής φορτιστεί, σταματάει και η κυκλοφορία του ρεύματος.



Σχήμα 27.4

Όταν αντίθετα εφαρμόσουμε στον πυκνωτή μία εναλλασσόμενη τάση (σχήμα 27.4 β), ρεύμα κυκλοφορεί συνεχώς διαμέσου του κυκλώματος. Επομένως ο πυκνωτής δεν διακόπτει το εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό συμβαίνει διότι:

1^ο) Στα χρονικά διαστήματα 0-1 και 2-3 (σχήμα 27.4 γ), κατά τα οποία η εφαρμοζόμενη τάση U αυξάνεται είτε θετικά είτε αρνητικά, ο πυκνωτής φορτίζεται αντίστοιχα (σχήμα 27.4δ) . Το φορτίο του $q=Cu$ αυξάνεται και είναι κάθε στιγμή ανάλογο της τιμής της τάσης κατά την ίδια στιγμή.



Σχήμα 27.4γ

Τα ηλεκτρικά φορτία μετακινούνται συνεχώς κατά τα χρονικά αυτά διαστήματα από την πηγή προς τους οπλισμούς. Η φορά μετακίνησης φαίνεται στο σχήμα 27.4δ. (Φόρτιση).

2^ο) Στα χρονικά διαστήματα 1-2 και 3-4 (σχήμα 27.4 γ), κατά τα οποία η εφαρμοζόμενη τάση ελαττώνεται, ο πυκνωτής εκφορτίζεται (σχήμα 27.4 δ). Επομένως ηλεκτρικά φορτία μετακινούνται από τους οπλισμούς προς την πηγή. Κατά την εκφόρτιση το φορτίο $q=Cu$ του πυκνωτή είναι και πάλι ανάλογο των στιγμιαίων τιμών της τάσεως.

Επίσης, το φορτίο του πυκνωτή μεταβάλλεται ημιτονοειδώς και είναι σε φάση με την εφαρμοζόμενη τάση. Η καμπύλη $q=Cu$ παριστάνει τις μεταβολές του φορτίου αυτού. Επιπρόσθετα, το ηλεκτρικό ρεύμα κυκλοφορεί συνεχώς διαμέσου του κυκλώματος.

Αποδεικνύεται ότι:

Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα είναι ημιτονοειδές και προπορεύεται της εφαρμοζόμενης τάσης στον πυκνωτή κατά ένα τέταρτο της περιόδου. (καμπύλη i του σχήματος 27.4 γ)

Η προπορεία κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες του ρεύματος ως προς την εφαρμοζόμενη τάση εξηγείται ως εξής: Γνωρίζουμε ότι η ένταση του ρεύματος, που μεταφέρει ποσό ηλεκτρισμού Q Coulomb σε χρόνο t sec έχει τιμή $I=Q/t$. Επομένως, σε δεδομένο χρόνο t το ποσό Q του μεταφερόμενου ηλεκτρισμού είναι μεγαλύτερο, επίσης το αντίστοιχο ρεύμα έχει μεγαλύτερη ένταση και αντίστροφα.

Από την καμπύλη $q=Cu$ του σχήματος 27.4 γ είναι προφανές ότι:

α) Τις στιγμές 1 και 3, κατά τις οποίες το φορτίο του πυκνωτή λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του $Q_{\mu}=CU_{\mu}$, το φορτίο αυτό δε μεταβάλλεται, διότι κατά τις στιγμές αυτές η καμπύλη είναι οριζόντια. Αφού λοιπόν δε μεταφέρονται ηλεκτρικά φορτία κατά τις στιγμές αυτές, το ρεύμα έχει ένταση μηδέν.

β) Αντίθετα, τις στιγμές 0,2 και 4, κατά τις οποίες το φορτίο του πυκνωτή μηδενίζεται, η καμπύλη $q=Cu$ παρουσιάζει τη μέγιστη κλίση της, άρα και οι μεταβολές του φορτίου παρουσιάζουν τη μέγιστη τιμή τους.

Αποδεικνύεται επίσης ότι το ρεύμα διαμέσου κυκλώματος με χωρητικό καταναλωτή έχει ενδεικνυόμενη τιμή:

$$I=UC\omega=\frac{U}{\frac{1}{C\omega}}=\frac{U}{\frac{1}{C2\pi f}} \text{ (A)}$$

ο παρανομαστής $1/C\omega$ ονομάζεται χωρητική αντίσταση του καταναλωτή. Η χωρητική αντίσταση μετριέται σε μονάδες Ω , όταν η χωρητικότητα C εκφράζεται σε Φαραντ, υπολογίζεται μέσω του X_L δηλαδή : $X_L=1/C\omega$.

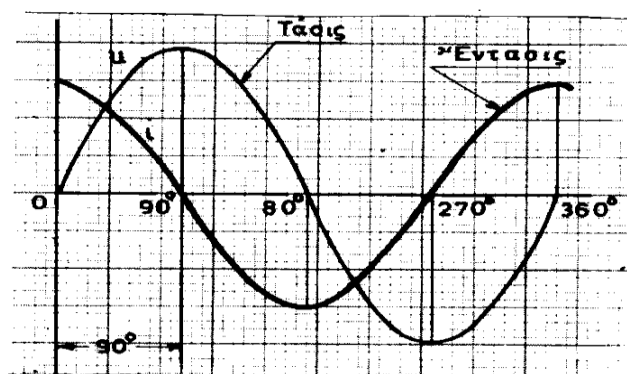
Η χωρητική αντίσταση $X_C=1/C\omega$ χωρητικού καταναλωτή είναι αντιστρόφως ανάλογη της χωρητικότητας του C . Καταναλωτής μικρής χωρητικότητας παρουσιάζει μεγάλη χωρητική αντίσταση, ενώ καταναλωτής μεγάλης χωρητικότητας παρουσιάζει μικρή χωρητική αντίσταση. Καταναλωτής μέγιστης (άπειρης) χωρητικότητας δεν παρουσιάζει χωρητική αντίσταση.

Δηλαδή όταν $C=0$ φαραντ, $X_C = 1/C\omega=1/\infty=0$ $\omega\mu$.

Η χωρητικότητα είναι εξάλλου αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης τάσης. Όσο η συχνότητα γίνεται μεγαλύτερη, τόσο η κυκλική συχνότητα γίνεται μεγαλύτερη και τόσο η χωρητική αντίσταση του ίδιου πυκνωτή γίνεται μικρότερη.

Αν ανακεφαλαιώσουμε τα παραπάνω, καταλήγουμε στα εξής: Όταν εφαρμόσουμε σε πυκνωτή χωρητικότητας C φαραντ μια εναλλασσόμενη τάση συχνότητας f χερτζ και ενδεικνυόμενης τιμής U βολτ :

1^{ov}) Διαμέσου του καταναλωτή κυκλοφορεί ένα εναλλασσόμενο ρεύμα της ίδια συχνότητας με τη συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης, το οποίο προπορεύεται κατά ένα τέταρτο της περιόδου η κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες της εφαρμοζόμενης αυτής τάσης. (σχήμα 27.4 ε)



Σχήμα 27.4 ε

2^{ον}) Το ρεύμα έχει ενδεικνυόμενη ένταση:

$$I=UC\omega=\frac{U}{\frac{1}{C\omega}}=\frac{U}{\frac{1}{C2\pi f}} \text{ (A)}$$

όπου

I είναι η ένταση του ρεύματος σε αμπέρ,

U είναι η εφαρμοζόμενη τάση σε βολτ,

C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή σε φαραντ,

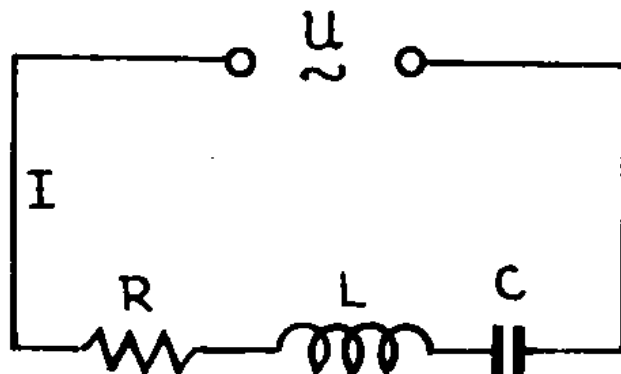
$\omega=2\pi f$ είναι η κυκλική συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης σε ηλεκτρικά ακτίνια/sec,

$X_C=1/C\omega=1/C2\pi f$ είναι η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή σε ώμ.

6.6 Κύκλωμα με σύνθετο καταναλωτή σε σειρά

Γενικά.

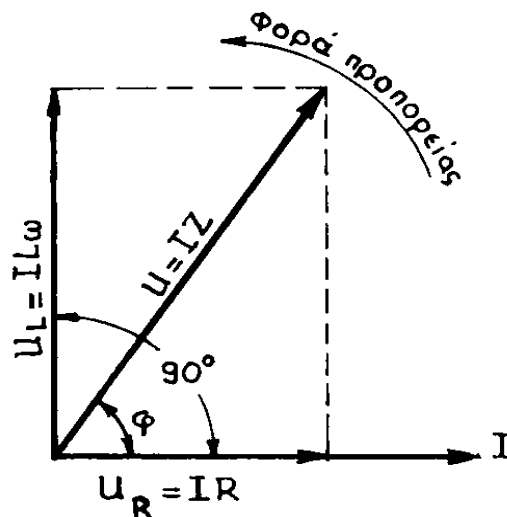
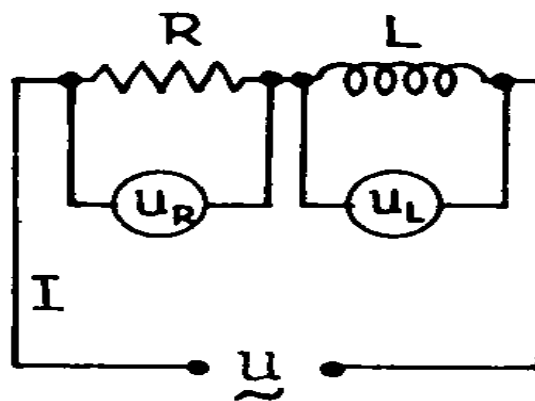
Σύνθετος καταναλωτής σε σειρά στο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζεται καταναλωτής, ο οποίος αποτελείται από πολλά στοιχεία (ωμικές αντιστάσεις, πηνία, πυκνωτές) συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά(σχήμα 27.5 α).



Σχήμα 27.5 α

Σε κύκλωμα με σύνθετο καταναλωτή σε σειρά, το ρεύμα έχει προφανώς σε οποιαδήποτε στιγμή την ίδια τιμή σε όλα του τα τμήματα. Επίσης το ρεύμα αυτό είναι ισόσυχο, έχει δηλαδή την ίδια συχνότητα με την τάση, η οποία εφαρμόζεται στα άκρα του κυκλώματος. Η ένταση όμως του ρεύματος είναι δυνατόν είτε να καθυστερεί είτε να προπορεύεται ως προς την εφαρμοζόμενη τάση, είτε να βρίσκεται σε φάση με αυτήν. Στα παρακάτω τυπικά κυκλώματα με σύνθετο καταναλωτή θα καθορίσουμε την ένταση του ρεύματος διαμέσου του κυκλώματος και τη φάση του ρεύματος αυτού.

6.7 Κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση σε σειρά.



Ένα κύκλωμα με αυτεπαγωγή και αντίσταση σε σειρά παριστάνεται στο σχήμα 27.6α. Η εφαρμοζόμενη τάση U στα άκρα του κυκλώματος αυτού πρέπει να πληροί δύο προϋποθέσεις :

1^ο) Να καλύπτει την πτώση τάσης $U_R=IR$, η οποία δημιουργείται από την ωμική αντίσταση R . Μάθαμε ότι η συνιστώσα αυτή της εφαρμοζόμενης τάσης είναι σε φάση με το ρεύμα I . Αν παραστήσουμε το ρεύμα με οριζόντιο διάνυσμα (σχήμα 27.6 β), το διάνυσμα $U_R=IR$, βρίσκεται πάνω στο διάνυσμα I και έχει την ίδια φορά με αυτό.

2^ο) Να αντισταθμίζει κάθε στιγμή την ηλεκτρεγερτική δύναμη από την αυτεπαγωγή η οποία αναπτύσσεται εντός της αυτεπαγωγής. Σύμφωνα με όλα όσα διδάχθηκαν στην παράγραφο 27.3 και κυρίως στα παραδείγματα 1 έως 3, η τάση U_L η οποία αντισταθμίζει τη ΗΕΔ από την αυτεπαγωγή, έχει τιμή $IL\omega$ και προπορεύεται από το ρεύμα I κατά 90° . Το διάνυσμα της τάσης αυτής U_L σχεδιάστηκε στο σχήμα 27.6β να προπορεύεται κατά 90° . Το ως προς το διάνυσμα I .

Η εφαρμοζόμενη τάση U πρέπει να είναι ίση προς το γεωμετρικό άθροισμα της $U_R=IR$ και της $U_L=IL\omega$ (σχήμα 27.6β).

Από το διάγραμμα του σχήματος προκύπτει ότι:

$$U^2=U_R^2+U_L^2=I^2R^2+I^2(L\omega)^2=I^2R^2+I^2X_L^2=I^2(R^2+X_L^2)\text{άρα:}$$

$$\alpha) U=I\sqrt{R^2+X_L^2}\text{ και } \beta) I=\frac{U}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$$

Η παράσταση $\sqrt{R^2+X_L^2}$ ονομάζεται σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή, μετριέται σε μονάδες ω και συμβολίζεται με το κεφαλαίο γράμμα Z , δηλαδή $Z=\sqrt{R^2+X_L^2}\omega$. Οι σχέσεις α και β μπορούν δηλαδή να γραφτούν και $U=IZ$ και $I=U/Z$.

Από το διάγραμμα του σχήματος 27.6β προκύπτει επίσης ότι η εφαρμοζόμενη τάση U στον καταναλωτή προπορεύεται της έντασης του ρεύματος, τον οποίο τον διαρρέει κατά τη γωνία ϕ . Για να βρούμε αυτή τη γωνία ϕ αρκεί να καθορίσουμε την τιμή της εφαπτομένης της. Έχουμε δηλαδή:

$$\epsilon\phi\phi = \frac{UL}{UR} = \frac{IL\omega}{IR} = \frac{L\omega}{R} = \frac{XL}{R}$$

Με βάση την τιμή αυτή βρίσκουμε στους πίνακες των φυσικών τριγωνομετρικών συναρτήσεων την τιμή της γωνίας ϕ .

Αν ανακεφαλαιώσουμε τα παραπάνω, καταλήγουμε στα εξής:

Όταν εφαρμόσουμε μία εναλλασσόμενη τάση στα άκρα σύνθετου καταναλωτή έχουμε:

1^ο) Η ενδεικνυόμενη τιμή του ρεύματος διαμέσου του καταναλωτή είναι ίση με το πηλίκο της ενδεικνυόμενης τιμής της τάσης προς τη σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή. Δηλαδή:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \text{αμπέρ.}$$

2^ο) Η τάση προπορεύεται της έντασης κατά γωνία φ , της οποίας η εφαπτομένη έχει τιμή:

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L}{R}$$

$$\text{άρα } 0^\circ < \varphi < 90^\circ.$$

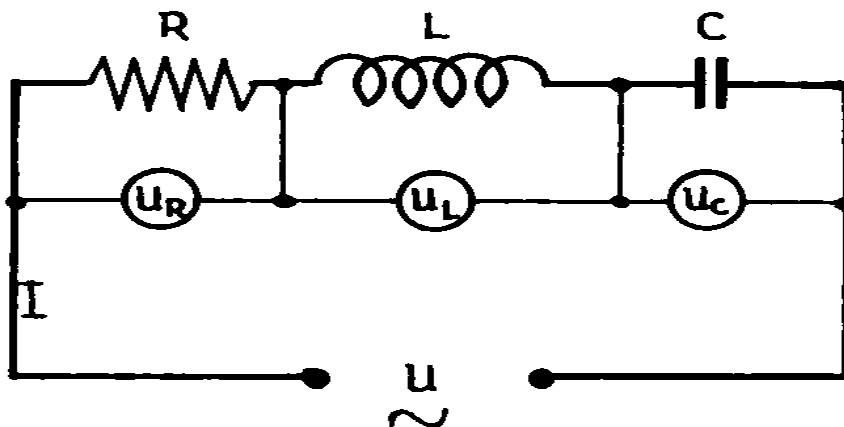
Το συνημίτονο της γωνίας φ :

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{I R}{I Z} = \frac{R}{Z}$$

ονομάζεται συντελεστής ή παράγων ισχύος του καταναλωτή και έχει σπουδαία σημασία στην πράξη

6.8 Καταναλωτής με αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά.

Ένας καταναλωτής με αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά παριστάνεται στο



Σχ.4.7-1 Κύκλωμα με αυτεπαγωγή αντίσταση και χωρητικότητα σε σειρά

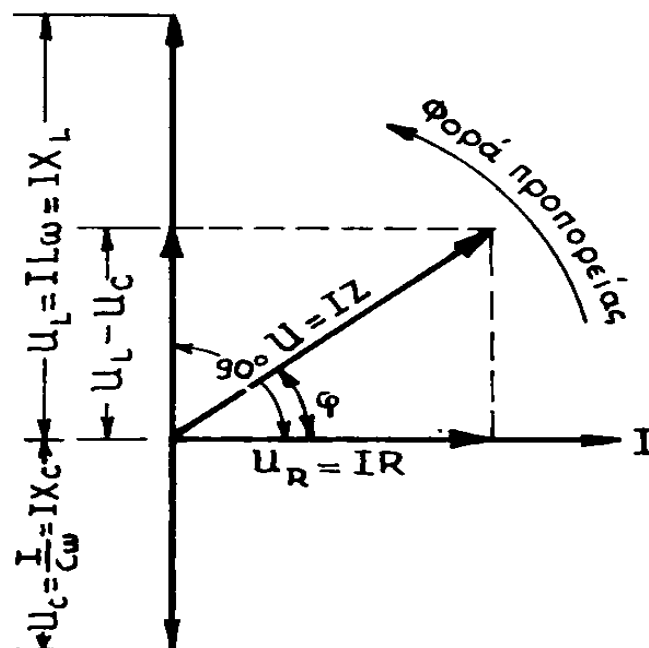
Με τους ίδιους συλλογισμούς που κάναμε στις δύο προηγούμενες παραγράφους εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η εφαρμοσμένη τάση U αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

1^{ov}) Από την $U_R = IR$ σε φάση με το ρεύμα.

2^{ov}) Από την $U_L = I\omega L$ που προηγείται 90 μοίρες ως προς το ρεύμα.

3^{ov}) Από την $U_C = \frac{I}{C\omega}$ με καθυστέρηση 90 μοίρες ως προς το ρεύμα.

Αν, με βάση όπως πράξαμε στις δύο προηγούμενες παραγράφους, λάβουμε την ένταση του ρεύματος ως αφετηρία μέτρησης των φάσεων των τριών παραπάνω τάσεων(Σχ4.7-2), τότε:



Σχ.4.7-2 Διανυσματική παράσταση αυτεπαγωγής αντίστασης και χωρητικότητας

α) Το διάνυσμα της τάσης $U_R = IR$ ταυτίζεται με το διάνυσμα του ρεύματος και έχει την ίδια φορά με αυτό.

β) Το διάνυσμα $U_L = IL\omega$ προπορεύεται ως προς το διάνυσμα του ρεύματος I κατά 90 μοίρες.

γ) Το διάνυσμα $U_C = \frac{I}{C\omega}$ καθυστερεί ως προς το διάνυσμα του ρεύματος I κατά 90 μοίρες.

Η εφαρμοσμένη τάση U είναι επομένως ίση προς το γεωμετρικό άθροισμα των U_R , U_L και U_C .

Αν λάβουμε υπόψη ότι οι τάσεις U_L και U_C είναι φασικά αντίθετες, μπορούμε να βρούμε τη συνισταμένη τους, αφού αφαιρέσουμε διανυσματικά τη μικρότερη από τη μεγαλύτερη. Στο σχήμα αφαιρούμε την U_C από την U_L και προκύπτει η συνισταμένη των $U_L - U_C$.

Καταλήγουμε ως εκ τούτου στο να βρούμε τη συνισταμένη των δύο διανυσμάτων:

$$U_R = IR \text{ και } U_L - U_C = IL\omega - \frac{I}{C\omega} = I \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right).$$

Από το διάγραμμα του σχήματος προκύπτει ότι:

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 = I^2 R^2 + I^2 \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2 = I^2 \left[R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2 \right].$$

Άρα:

$$U = I \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ$$

όπου $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ είναι η σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή, η οποία μετριέται σε Ωμ.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{Z}.$$

Η εφαπτομένη της φασικής απόκλισης φ μεταξύ της εφαρμοσμένης τάσης και της έντασης του ρεύματος έχει τιμή:

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{IL\omega - \frac{I}{C\omega}}{IR} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Προκύπτει από τη ανωτέρω σχέση ότι η φασική απόκλιση μεταξύ της εφαρμοσμένης τάσης και της έντασης εξαρτάται από τις τιμές των X_L και X_C .

Αν η αυτεπαγωγική αντίσταση X_L είναι μεγαλύτερη της χωρητικής αντίστασης X_C όπως στην περίπτωση του καταναλωτή σχ.4.7-2, τότε η τάση $U_L = IX_L$ είναι μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή της $U_C = IX_C$. Άρα η εφαρμοσμένη τάση προπορεύεται του ρεύματος ($\varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} > 0$). Τότε μιλάμε για αυτεπαγωγικό σύνθετο καταναλωτή ή για αυτεπαγωγική φόρτιση. Αν αντιθέτως η X_C είναι μεγαλύτερη της X_L , τότε και τάση $U_C = IX_C$ είναι μεγαλύτερη της $U_L = IX_L$. Τότε μιλάμε για χωρητικό σύνθετο καταναλωτή ή για χωρητική φόρτιση.

Από το σχήμα 4.7-2 προκύπτει ότι η παραγόμενη ισχύς του συνθέτου καταναλωτή έχει τιμή :

$$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{IR}{IZ} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα, όταν συνδέονται σε σειρά, αποτελούν την γενική περίπτωση σύνθετου καταναλωτή σε σειρά. Οι αντίστοιχες σχέσεις :

$$U = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

και

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Αποτελούν την γενική μορφή του νομού του Ωμ στο εναλλασσόμενο ρεύμα σε σύνθετο καταναλωτή σε σειρά. Επίσης οι σχέσεις :

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Και

$$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Αποτελούν τη γενική μορφή της εφαιπόμενης της φασικής απόκλισης μεταξύ εφαρμοσμένης τάσης και έντασης και του συντελεστή ισχύος του σύνθετου καταναλωτή.

Από την γενική περίπτωση του νομού του Ωμ σε καταναλωτή R,L,C σε σειρά προκύπτουν οι ειδικές περιπτώσεις που μελετήσαμε προηγουμένως.

Έτσι:

- 1) Όταν ο καταναλωτής συνίσταται μόνο από μια καθαρά ωμική αντίσταση R τότε X_L και X_C έχουν τιμή 0.

$$\text{Άρα: } U = I\sqrt{R^2}, I = \frac{U}{\sqrt{R^2}} = \frac{U}{R}, \varepsilon\varphi\varphi = \frac{0}{R} = 0 \text{ και } \varphi=0^\circ, \sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2}} = \frac{R}{R} = 1.$$

- 2) Όταν ο καταναλωτής συνίσταται μόνο από μια καθαρά αυτεπαγωγή με συντελεστή αυτεπαγωγής L τότε R και X_C έχουν τιμή ίση με 0.

$$\text{Άρα: } U = I\sqrt{X_L^2} = IX_L = IL\omega, I = \frac{U}{\sqrt{X_L^2}} = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{L\omega}, \varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L}{0} = +\infty \text{ και}$$

$$\varphi = +90^\circ, \sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{0}{\sqrt{X_L^2}} = \frac{0}{X_L} = 0$$

- 3) Όταν ο καταναλωτής συνίσταται μόνο από μια καθαρά χωρητική τιμή C, τότε R και X_L έχουν τιμή 0.

Άρα

$$U = I\sqrt{(-X_C)^2} = IX_C = I\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C\omega}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{(-X_C)^2}} = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{C\omega}} = UC\omega,$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{-X_C}{0} = -\infty \text{ και } \varphi = -90^\circ, \sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{0}{X_C} = 0$$

- 4) Όταν ο καταναλωτής συνίσταται μόνο από μια αντίσταση R σε σειρά με μια αυτεπαγωγή L, τότε X_C έχει τιμή 0.

Άρα

$$U = I\sqrt{R^2 + X_L^2} = I\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{L\omega}{R} \text{ και } 0^\circ < \varphi < 90^\circ$$

$$\sigma\varphi\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$$

5) Όταν ο καταναλωτής συνίσταται από μια αντίσταση R σε σειρά με μια χωρητικότητα C, τότε X_L ισούται με 0 .

$$U = I\sqrt{R^2 + (-X_C)^2} = I\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (-X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = -\frac{X_C}{R} \text{ και } 0^\circ > \varphi > 90^\circ, \sigma\varphi\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

6.9 Συντονισμός καταναλωτή σε σειρά.

Όταν σε ένα καταναλωτή R,L,C σε σειρά $X_L = L\omega$ είναι ίση προς την χωρητική αντίσταση $X_C = \frac{1}{C\omega}$, όταν δηλαδή $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ ή $LC\omega^2 = 1$, τότε :

Η σύνθετη αντίσταση $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ του καταναλωτή αποκτά ελάχιστη τιμή $Z = \sqrt{R^2} = R$ Ωμ, αφού $(X_L - X_C) = 0$.

Το ρεύμα $I = \frac{U}{Z}$ δια μέσου του καταναλωτή αποκτά μέγιστη τιμή $I = \frac{U}{R}$.

Οι τάσεις $U_R = IR$, $U_L = IX_L$ και $U_C = IX_C$ μεταξύ των ακρών της αντίστασης της αυτεπαγωγής και του πυκνωτή αποκτούν μέγιστες τιμές , αφού το I αποκτά την μέγιστη τιμή του .

Επειδή $\varepsilon\varphi\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{0}{R} = 0$ άρα επειδή $\varphi=0^\circ$, το ρεύμα δια μέσου καταναλωτή είναι σε φάση με την εφαρμοσμένη τάση στα άκρα του .

Η παραπάνω περίπτωση κατά την οποία η αυτεπαγωγική αντίσταση X_L του καταναλωτή είναι ίση με την χωρητική αντίσταση X_C , ονομάζεται συντονισμός σειράς.[4]

6.10 Διάγραμμα αντιστάσεων του καταναλωτή σε σειρά

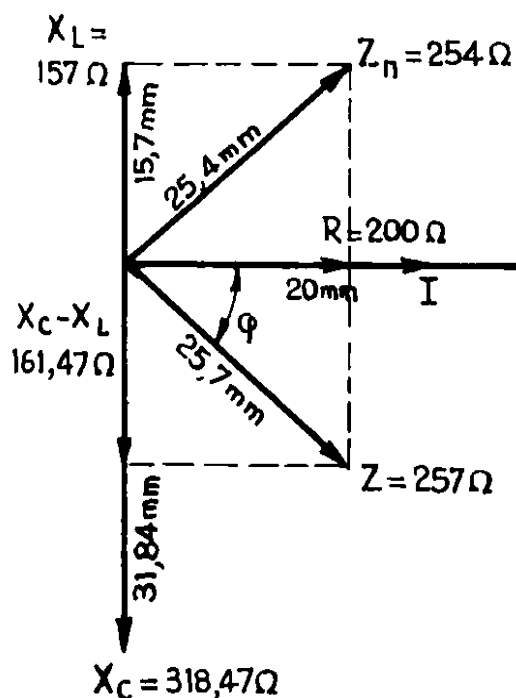
Η σύνθετη αντίσταση καταναλωτή R,L,C σε σειρά έχει τιμή

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Άρα $Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$. Από το πυθαγόρειο θεώρημα συμπεραίνουμε ότι η Z είναι η υποτεινούσα ορθογώνιου τριγώνου πλευρών R και $(X_L - X_C)$. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει τρόπος για την εύρεση της σύνθετης αντίστασης Z σε σειρά διανυσματικά. Για την εύρεση της διανυσματικά σχεδιάζουμε το παρακάτω σχήμα από το οποίο προκύπτει ότι :

$$\varepsilon\varphi\varphi = -\frac{X_C - X_L}{R}$$

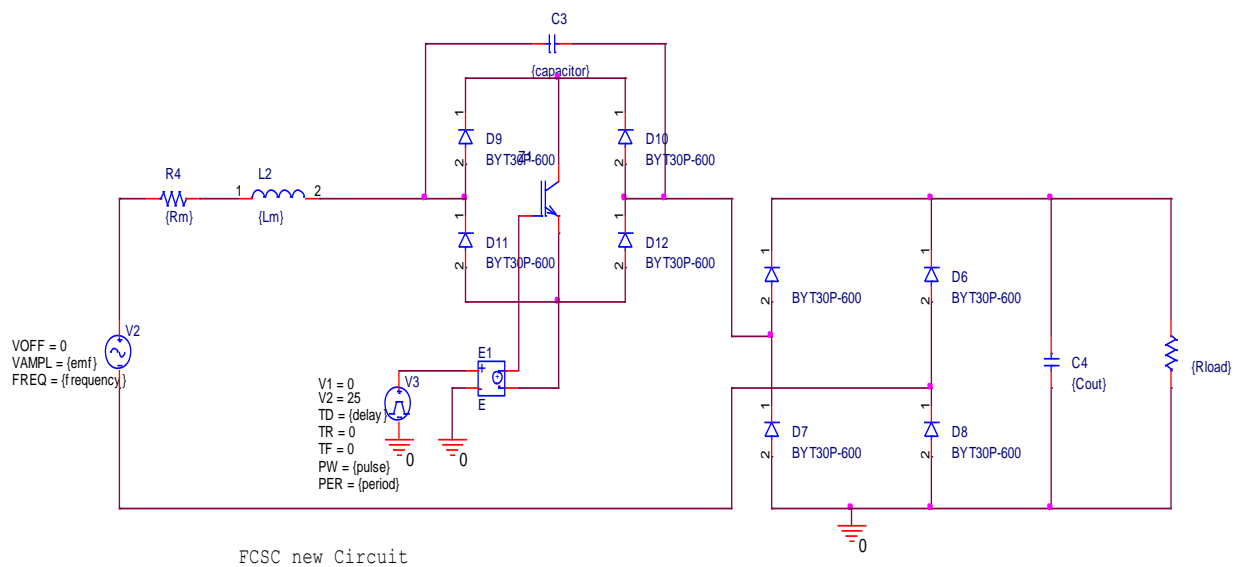
κλίμαξ 1mm = 10Ω



Σχήμα 4.9.1 Εύρεση της σύνθετης αντίστασης Z σε σειρά διανυσματικά

7 Προσομοιώσεις-Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο προσπαθήσαμε να δείξουμε πως είναι στην πραγματικότητα η εναλλαγή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική . Στην προσπάθεια μας αυτή χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα OrCAD δημιουργώντας ένα κύκλωμα το οποίο είναι ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας . Παρακάτω απεικονίζεται το σύστημα αυτό .



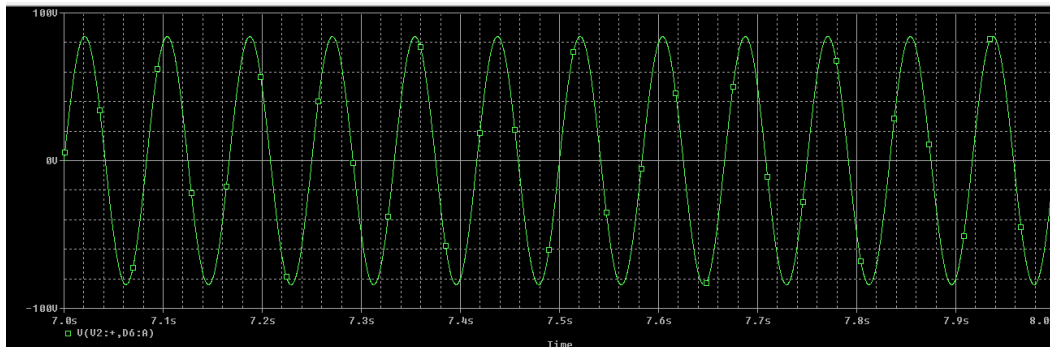
Αρχικά έχουμε το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μηχανής το οποίο αποτελείται από την πηγή , την αντίσταση R_4 , και το πηνίο L_2 . Αυτό συνδέεται με ένα σύστημα βελτίωσης του συντελεστή ισχύος , το οποίο συνδέεται παράλληλα με τον πυκνωτή C_3 . Στην έξοδο του συστήματος βελτίωσης του συντελεστή ισχύος έχουμε συνδέσει μια πλήρους μονοφασική γέφυρα ανόρθωσης. Η γέφυρα αυτή αποτελείται από τέσσερις διόδους . Η έξοδος της γέφυρας συνδέεται με το εθνικό δίκτυο , στην δική μας περίπτωση όμως η γέφυρα συνδέεται με την αντίσταση R_{load} . Ο πυκνωτής C_4 συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση R_{load} για την μείωση κυμάτωσης της τάσης εξόδου , λειτουργεί δηλαδή σαν φίλτρο.

Πραγματοποιήσαμε δέκα προσομοιώσεις , από τις οποίες τις τέσσερις τις αποτυπώσαμε σε γραφικές παραστάσεις.

1^η Προσομοίωση :

Για $f= 12\text{Hz}$, $D= 12,4 \text{ ms}$, $P=16,6 \text{ ms}$

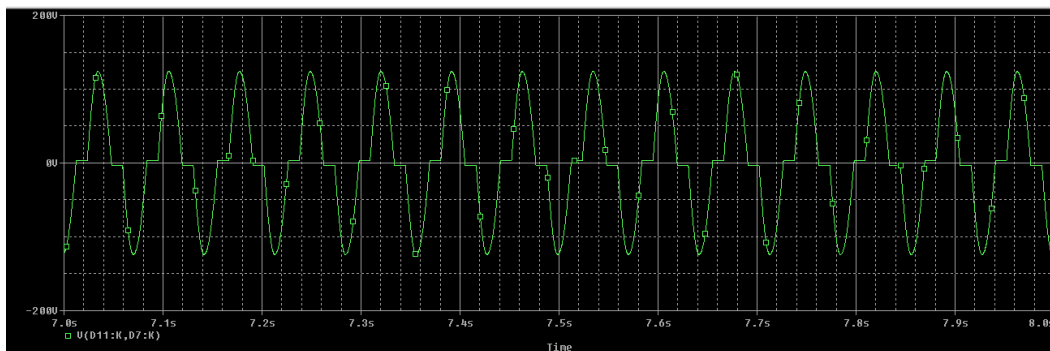
Έχουμε βάλει ακροδέκτες στα άκρα της πηγής .



2^η Προσομοίωση :

Για $f=14\text{Hz}$, $D=12,3\text{ms}$, $P=10,9\text{ms}$

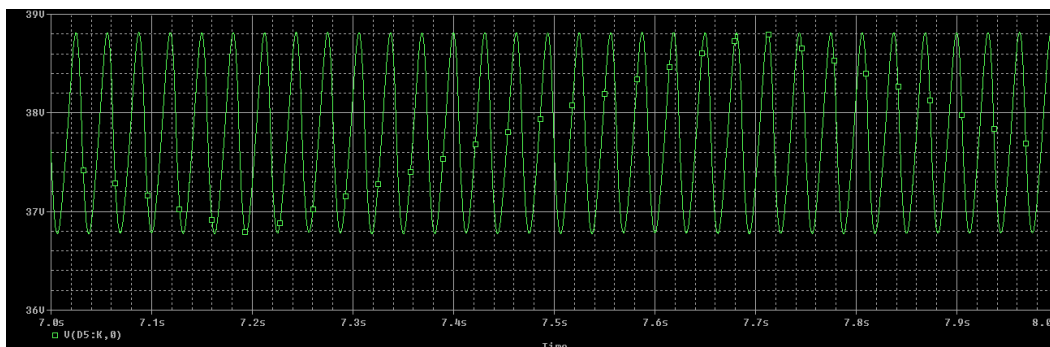
Έχουμε βάλει τους ακροδέκτες στα άκρα του πυκνωτή .



3^η Προσομοίωση :

Για $f= 16$, $D= 12,3\text{m}$, $P=06,5\text{m}$

Έχουμε βάλει τους ακροδέκτες στα άκρα της αντίστασης Rload .



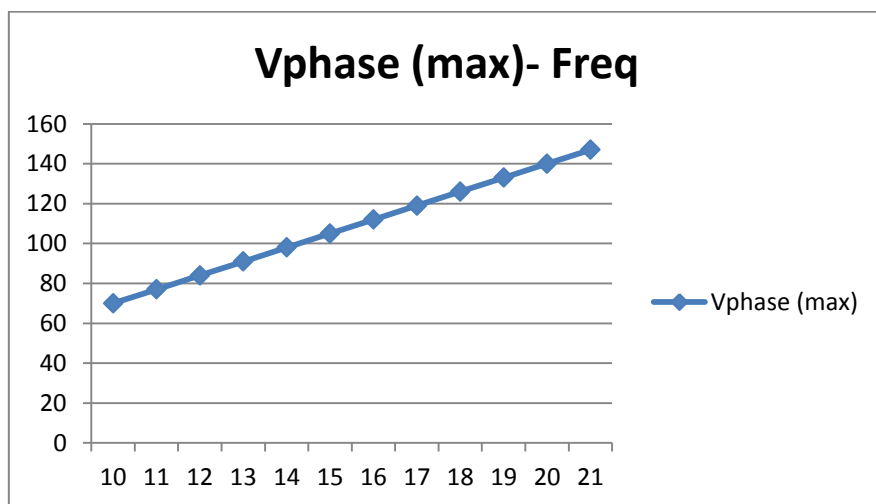
Συγκεντρώσαμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σε έναν πίνακα όπως φαίνεται παρακάτω:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΛΜΩΝ :			EMF	Πυκνωτή	IGBT	Μηχανής
Freq :	D (m)	pulse	Vphase (max)	Vc(rms)	Vigbt (max)	Vm (rms)
10	12.5	24.3m	70	39,56	77,58	24,301
11	12.4	20.3m	77	46,553	87,67	26,885
12	12.4	16.6m	84	54,731	99,258	29,47
13	12.4	13.2m	91	64,747	112,511	32,081
14	12.3	10.9m	98	72,982	123,57	34,66
15	12.3	08.6m	105	83,32	136,286	37,277
16	12.3	06.5m	111,999	94,454	150,053	39,865
17	12.3	04.8m	119	105,789	162,102	42,437
18	12.3	03.3m	126	117,564	177,086	45,046
19	12.2	02.0m	133	130,792	191,938	47,583
20	12.2	605u	140	146,146	208,794	50,189
21	12.2	15u	147	155,413	219,525	52,71

	Δίοδο	Έξοδο	Εσ. Αντίσταση	IGBT	Έξοδο	Έξοδο
pulse	Vd (max)	Vout (avg)	Ir (rms)	ligbt (max)	Irload (max)	Pload (avg)
24.3m	23,26	22,314	4,81	6,48	4,65	99,6
20.3m	26,87	24,87	5,3919	7,17	5,1669	123,724
16.6m	29,47	27,443	5,943	7,9029	5,6842	150,643
13.2m	21,677	30,012	6,5429	13,377	6,2029	180,178
10.9m	34,69	32,59	7,1173	9,4733	6,7231	212,461
08.6m	37,302	35,163	7,7237	11,041	7,2439	247,443
06.5m	39,909	37,737	8,3129	22,991	7,7627	284,971
04.8m	42,512	40,311	8,8863	31,799	8,2816	325,045
03.3m	45,108	42,879	9,4925	38,079	8,7989	367,831
02.0m	47,706	45,444	10,11	25,087	9,3168	413,147
605u	50,294	47,998	10,728	45,609	9,833	460,94
15u	52,826	50,512	11,283	17,67	10,338	510,429

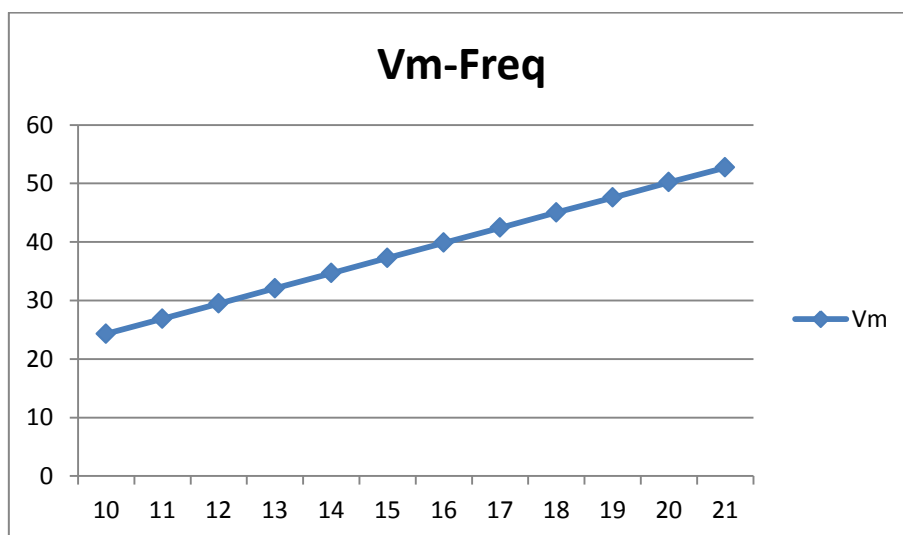
Από τις προσομοιώσεις λοιπόν προέκυψαν τα παραπάνω αποτελέσματα. Παρακάτω υπάρχουν κάποια αντιπροσωπευτικά διαγράμματα :

1)



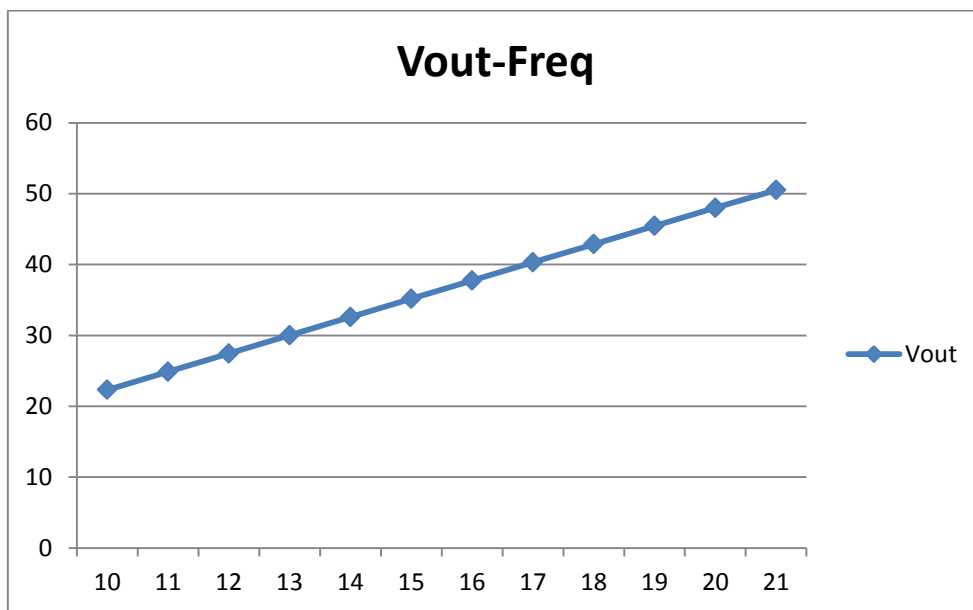
Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα ψ την μέγιστη τάση στα άκρα της πηγής και στον άξονα τον χ την συχνότητα . Παρατηρούμε πως τα δύο αυτά μεγέθη δημιουργούν μία ευθεία, αυξάνονται ταυτόχρονα, είναι ανάλογα μεγέθη.

2)



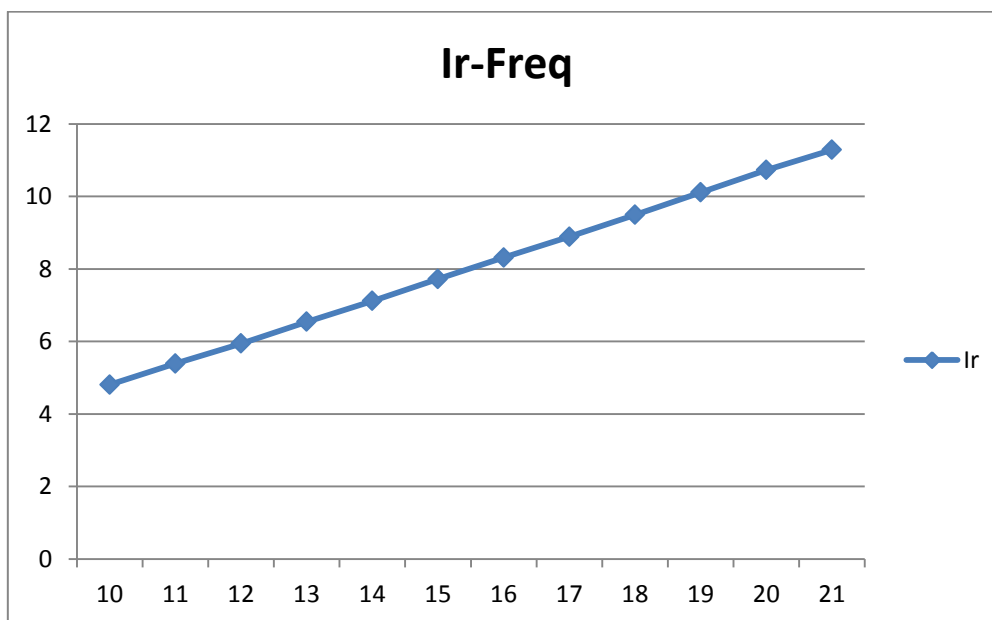
Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα ψ την ενεργό τάση στα άκρα της μηχανής και στον άξονα τον χ την συχνότητα. Παρατηρούμαι ότι τα δύο μεγέθη αυξάνονται ταυτόχρονα . Τα μεγέθη είναι ανάλογα μεταξύ τους, γι' αυτό δημιουργούν και μία ευθεία .

3)



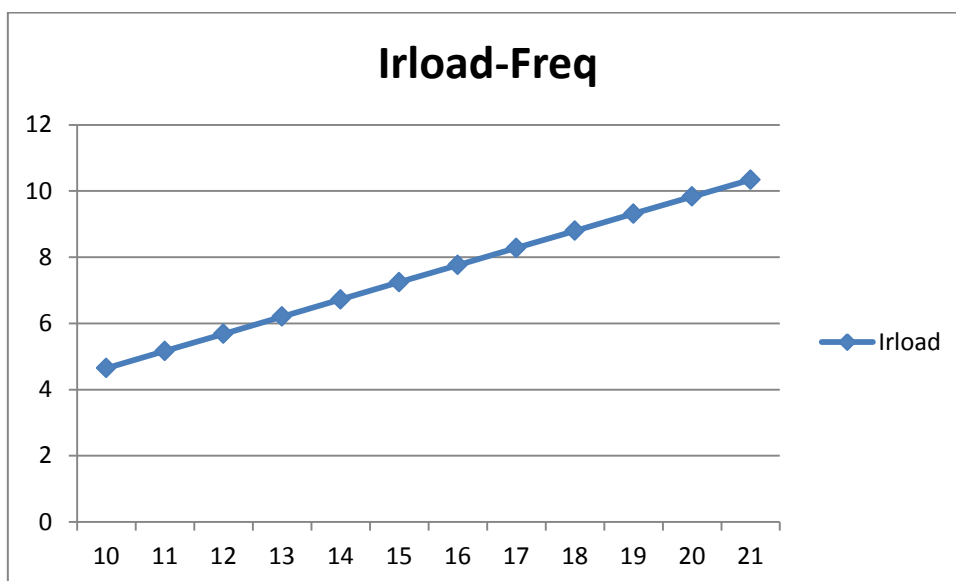
Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα τον ψ την μέγιστη τάση εξόδου στην αντίσταση R_{load} και στον άξονα χ την συχνότητα. Παρατηρούμαι πως και εδώ η γραφική παράσταση είναι μία ευθεία, καθώς τα μεγέθη αυξάνονται ανάλογα.

4)



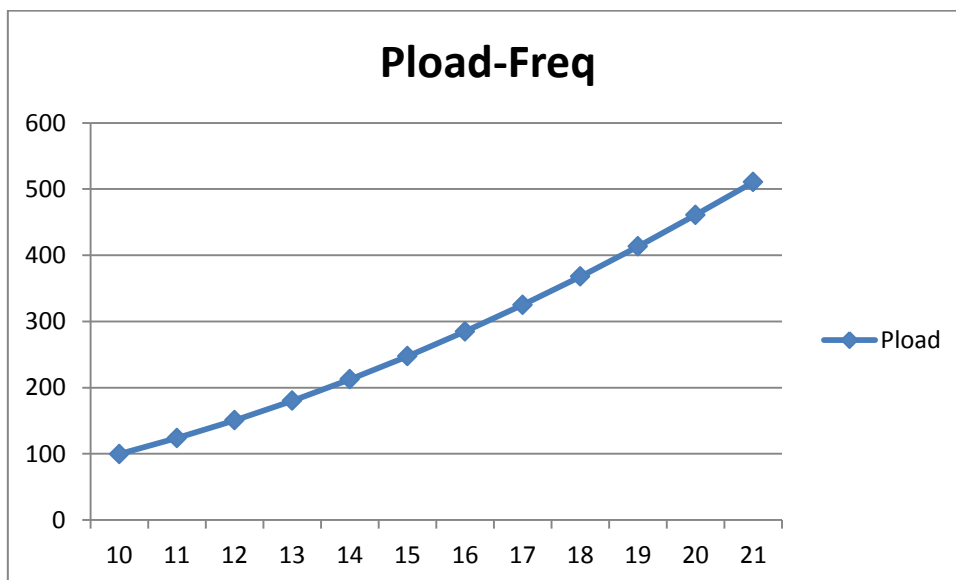
Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα τον ψ την ενεργό τιμή του ρεύματος της αντίστασης R_m και στον άξονα του χ την συχνότητα. Τα μεγέθη είναι ανάλογα και αυξάνονται ταυτόχρονα, δημιουργώντας μία ευθεία.

5)



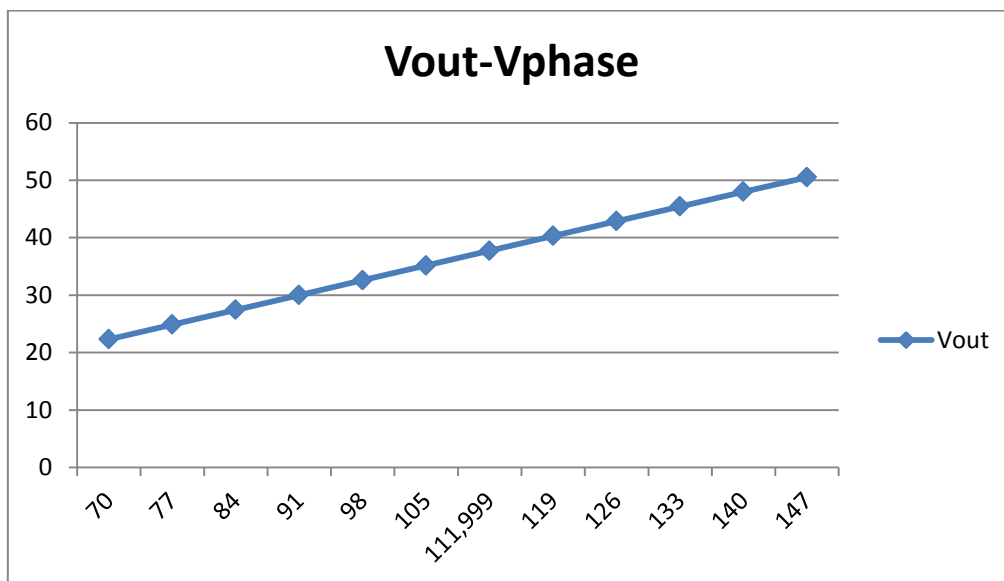
Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα τον ψ το μέγιστο ρεύμα στην αντίσταση Rload και στον άξονα τον χ την συχνότητα. Εδώ παρατηρούμαι πως όσο αυξάνεται το ρεύμα αυξάνεται και η συχνότητα, δημιουργώντας έτσι μία ευθεία στο διάγραμμα.

6)



Στο διάγραμμα αυτό έχουμε τον άξονα τον ψ την ισχύ στην έξοδο της αντίστασης Rload και στον χ την συχνότητα. Τα μεγέθη δημιουργούν μία ευθεία τα οποία αυξάνονται ανάλογα και τα δύο.

7)



Στο διάγραμμα αυτό έχουμε στον άξονα τον ψ την τάση στην έξοδο της αντίστασης R_{load} και στον χ την μέγιστη τάση της πηγής. Παρατηρούμε πως και τα δύο μεγέθη αυξάνονται ταυτόχρονα και δημιουργούν μία ευθεία .

8 Επίλογος

Συμπερασματικά η κλιματική αλλαγή στην οποία αναφερθήκαμε και παραπάνω είναι η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

9 Βιβλιογραφία

1. S. J. Chapman, *Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC*: 2η έκδοση, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., 1991.
2. N. Mohan, T. Underland, and W. Robbins, *Ηλεκτρονικά Ισχύος*: 2η έκδοση, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., 1995.
3. <file:///C:/Users/user/Downloads/Wave%20Energy%20Brochure.pdf>
4. http://abs5.me.washington.edu/pub/tidal_wave/a_rewiew_of_WEC_tech.pdf
5. <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/ocean.shtml>
6. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch4s4-3-3-8.html
7. http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/04/blog-post_1246.html
8. <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu2-3-5>
9. <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/anan2b.htm>
10. http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Parousiasi6_ver2.pdf
11. Ηλεκτρικές μηχανές 4^η Έκδοση STEPHEN CHAPMAN
12. <http://ctp.lns.mit.edu/energy/files/pelamisbrochure.pdf>
13. <http://www.icrepq.com/icrepq%2711/560-sagasetta.pdf>
14. <http://www.asiantec.co.id/detail-product-73-250-type-qf-series>
15. <http://www.cne-int.com/repaires.html>
16. http://www.industrial-electronics.com/elecyc4_20.html
17. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003704>
18. http://static1.squarespace.com/static/54921361e4b0a51594844ff0/t/54aaf924e4b0a61122e378d7/1420491044038/OMAE_OPT+PowerBuoy+System+Level+Design+Development+and+Validation+Methology.+June+2014.pdf
19. http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power
20. <https://www.google.gr/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&ie=UTF-8&rct=j#q=the+salter+duck+weight>
21. http://www.theecologist.org/News/news_round_up/2610729/new_wave_generator_brightens_ocean_power_prospects.html
22. <http://www.offshorewind.biz/2012/03/20/denmark-dexawave-receives-usd-178-million-grant/>
23. http://www.ece.ucy.ac.cy/courses/ece444/notes/02_SEMICONDUCTORS_REVIEW.pdf

