

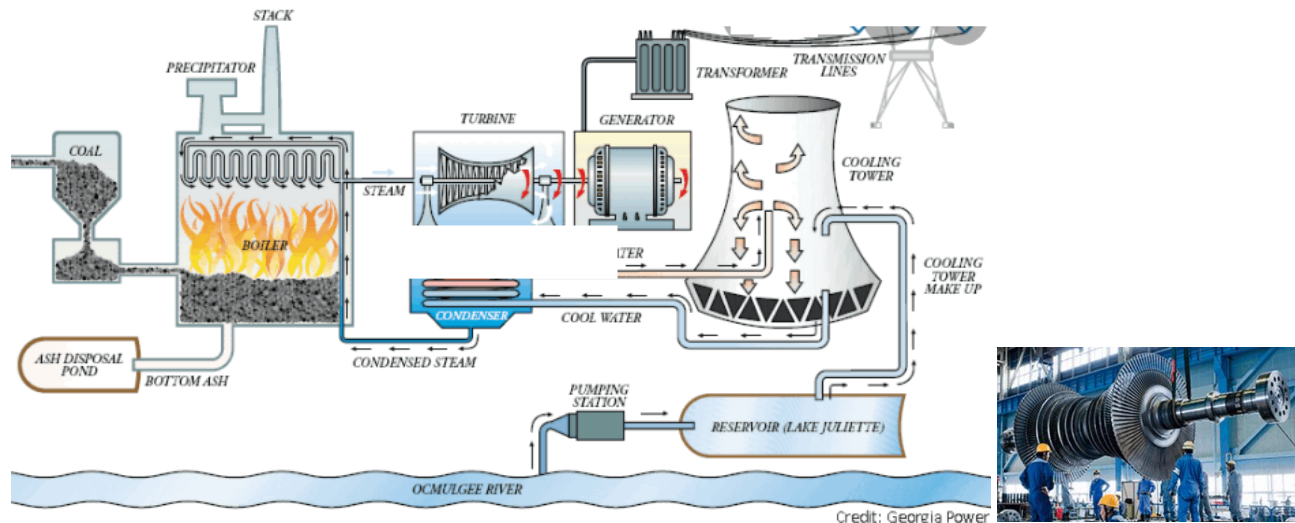
Οι ερωτήσεις προεργασίας βρίσκονται στην τελευταία σελίδα

Απαραίτητες γνώσεις

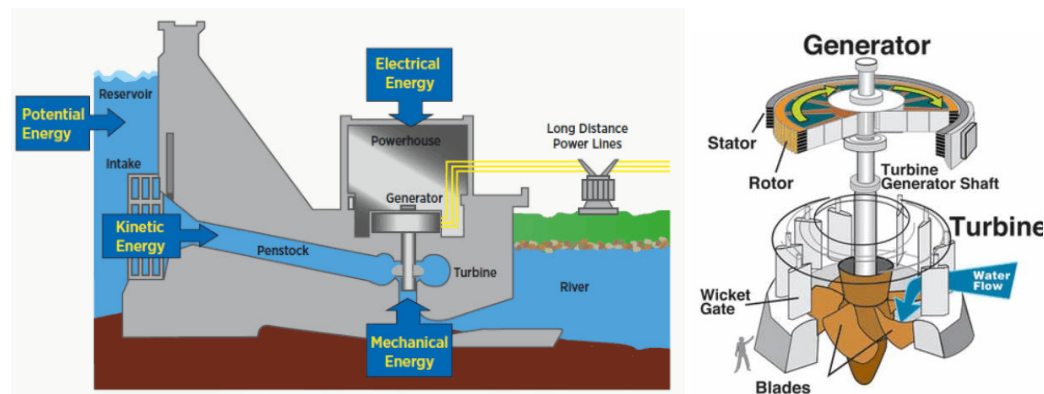
Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτρικό ρεύμα, Εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος, ΑΔΜΗΕ ΑΕ, διανομή ηλεκτρικής ισχύος, ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ, αστραπές, κεραυνοί, ροή ηλεκτρικής ισχύος, ηλεκτρική πηγή, καταναλωτής, μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας, μονοφασική οικιακή πρίζα, χαμηλή τάση εθνικού δικτύου, γείωση, σύνθετη αντίσταση, συντελεστής ισχύος, πυκνωτές, πηνία, ονομαστική ισχύς, διόρθωση συντελεστή ισχύος, διαφορά φάσης, αναπαράσταση ηλεκτρικού μεγέθους με μιγαδικούς αριθμούς, ενεργή ισχύς, άερη ισχύς, άερη αντίσταση, νόμος Ohm.

Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κατευθυνόμενη ροή ηλεκτρικών φορτίων (πχ ηλεκτρονίων, θετικών ή αρνητικών ιόντων).

Ηλεκτρική πηγή σε ένα ενεργειακό σύστημα μπορεί να είναι μια γεννήτρια σε ένα σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, πχ. Ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο όπως στην Εικόνα 3, ένα υδροηλεκτρικό όπως στην Εικόνα 4, ένας μετασχηματιστής (Μ/Σ) σε έναν υποσταθμό, ένας κόμβος του ηλεκτρικού δικτύου διανομής ισχύος, ένας ρευματοδότης (πρίζα) σε μια κατοικία, όπως στην Εικόνα 7.



Εικόνα 1. Αριστερά: Στον θερμοηλεκτρικό σταθμό, η χημική ενέργεια από την καύση λιγνίτη παράγει θερμότητα για την παραγωγή ατμού. Ατμοστρόβιλος δίνει κινητική ενέργεια και περιστρέφει τον άξονα τριφασικής γεννήτριας. Δεξιά: Ο στρόβιλος μέσα από τον οποίο εκρέει υπό πίεση ο ατμός δίνοντας περιστροφική κίνηση στον άξονα της γεννήτριας.



Εικόνα 2. Στον υδροηλεκτρικό σταθμό, η δυναμική ενέργεια του νερού λόγω της έλξης του βαρυτικού πεδίου της Γης, μετά την πτώσης του σε χαμηλότερο υψόμετρο μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, η τα πτερύγια περιστρέφουν τον άξονα της τριφασικής γεννήτριας.

Η ηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια θέτει σε ομαλή κυκλική κίνηση τον μαγνήτη της γεννήτριας σε σχέση με τα ακίνητα πηνία της (ένα πηνίο αν είναι μονοφασική, τρία αν είναι τριφασική), ή τα πηνία της σε σχέση με τον μαγνήτη της, προκειμένου με μεταβάλλεται η μαγνητική ροή στο χώρο των πηνίων. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί την εμφάνιση τάσης στα άκρα των πηνίων (ονομάζεται τάση εξ' επαγωγής, περιγράφεται από νόμο Faraday) :

Κινητική ενέργεια → Ηλεκτρική γεννήτρια → Ηλεκτρική ενέργεια →

Η παραγωγική διαδικασία συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δείχνεται στην Εικόνα 1, και περιγράφεται ως εξής:

Καύσιμη ύλη καίγεται σε καυστήρα. Η **καύση** γαιανθράκων παράγει ως προϊόντα της αντίδρασης CO₂, νερό και ενέργεια σε μορφή θερμότητας. Η ενέργεια της θερμότητας ελευθερώνεται λόγω που αλλάζουν οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων των ενώσεων, πριν και μετά την αντίδραση, οι νέοι δεσμοί των προϊόντων της αντίδρασης απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Ο καπνός (CO₂) που παράγεται φεύγει από τις καμινάδες του εργοστασίου. Η **θερμότητα** που παράγεται στον καυστήρα θερμαίνει δεξαμενή με νερό που ονομάζεται λέβητας, το νερό του λέβητα γίνεται ατμός και ο **ατμός** παροχετεύεται από τον λέβητα με μεγάλη **πίεση** μέσα στον **στρόβιλο** (Εικόνα 1 δεξιά). Ο στρόβιλος φέρει στην εξωτερική του επιφάνεια μεγάλα πτερύγια, όπως αυτά του ανεμόμυλου, τα οποία, πιεζόμενα από τον ατμό που εκρέει μέσα από τον στρόβιλο, γυρνάνε με ταχύτητα. Τα πτερύγια με τη σειρά τους **μεταδίδουν τη κίνηση** στον μαγνήτη που βρίσκεται μέσα στην γεννήτρια, με αποτέλεσμα στα πηνία της γεννήτριας να παράγεται **ηλεκτρική τάση**. Ο ατμός στη συνέχεια υγροποιείται και επιστρέφει στον λέβητα για να θερμανθεί ξανά. Για την ψύξη του ατμού ψεκάζεται νερό πάνω στους σωλήνες που τον μεταφέρουν, το νερό εξατμίζεται και αποβάλλεται μέσα από τις χαρακτηριστικά μεγάλες καμινάδες που φαίνεται να δημιουργούν σύννεφα.

Χημική αντίδραση καύσης $\xrightarrow{\text{θερμότητα}}$ Λέβητας- νερό $\xrightarrow{\text{Ατμός}}$ Στρόβιλος $\xrightarrow{\text{κινητική ενέργεια}}$
γεννήτρια $\xrightarrow{\text{ηλεκτρική τάση}}$

Η ηλεκτρική τάση δημιουργεί την προϋπόθεση ροής ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια (γραμμές μεταφοράς) σε όλη την Ελλάδα. Τα καλώδια είναι εναέρια, στερεώνονται πάνω σε ψηλές κολώνες που λέγονται πυλώνες.

Θερμότητα παράγεται από την καύση καυσίμων. Ορυκτά στερεά καύσιμα, όπως οι γαιάνθρακες (λιθάνθρακας, λιγνίτης), υγρά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο ή αέρια καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο ή την πυρηνική ενέργεια.)

Η παραγωγική διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΑΠΕ, μπορεί να χρησιμοποιείται

- **Ηλιακή ενέργεια**
- **Αιολική Ενέργεια**
- **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:**
- **Γεωθερμική Ενέργεια**
- **Ενέργεια Βιομάζας**

Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Ηλιακή ενέργεια - Φωτοβολταϊκά: Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά, όπως το πυρίτιο που είναι το συνηθέστερο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος της ακτινοβολίας διεγείρει ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου υποχρεώνει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ισχύς καθορίζεται από τη ροή των ηλεκτρονίων και την εφαρμοζόμενη τάση στο φωτοβολταϊκό κύτταρο. Για να αυξηθεί η ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων, προστίθενται στο καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο προσμίξεις, όπως ο φώσφορος και το βόριο.

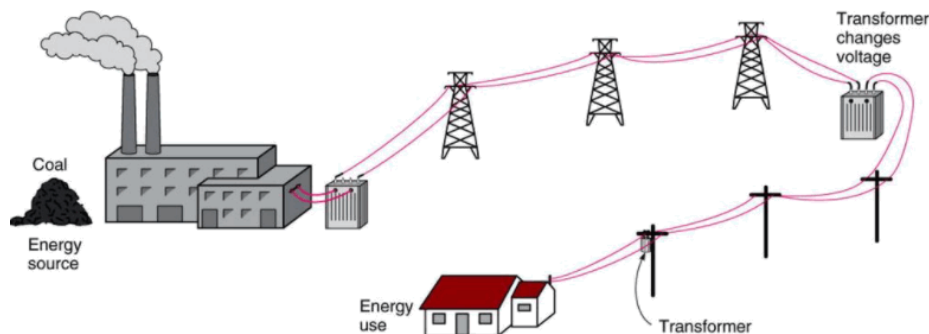
Αιολική Ενέργεια: Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ανεμογεννήτριες.

Γεωθερμική Ενέργεια: Ως γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης, μεταφέρεται στην επιφάνεια με αγωγή θερμότητας και με την είσοδο στο φλοιό της γης, λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της, και γίνεται αντιληπτή με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.

Ενέργεια Βιομάζας: Με τον όρο βιομάζα ορίζεται το σύνολο της ύλης που έχει οργανική (βιολογική) προέλευση, εξαιρώντας τα ορυκτά καύσιμα. Με βάση τον ορισμό αυτό, περιλαμβάνεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από φυτική ή ζωική ύλη, όπως φυτικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα ή από ενεργειακές καλλιέργειες, καθώς και τα υπολείμματα της εκμετάλλευσής τους, τα υποπροϊόντα της δασικής, γεωργικής, κτηνοτροφικής και αλιευτικής παραγωγής, αλλά και το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και απορριμμάτων. Η ενέργεια βιομάζας δημιουργείται με τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική μέσω της φωτοσύνθεσης και αποταμιεύεται στις οργανικές δομές των ιστών των ζώντων οργανισμών.

Στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος της Ελλάδας, χρησιμοποιούνται κυρίως γραμμές με τάσεις 400kV και 150kV.

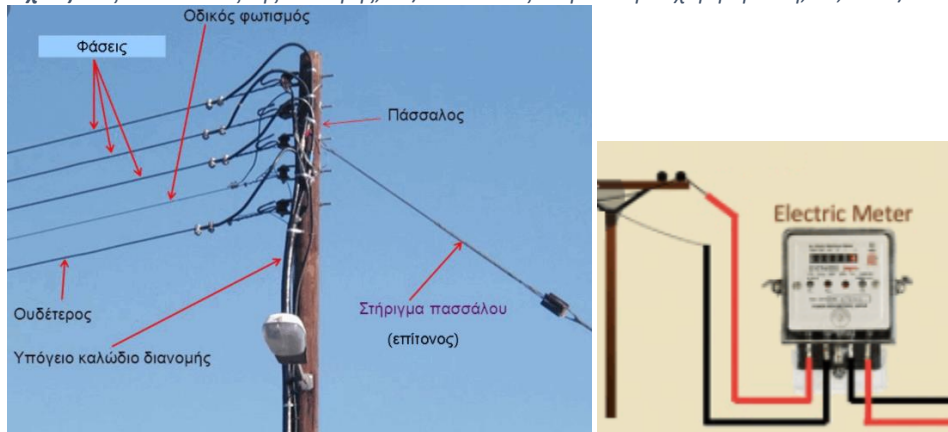
Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος είναι μέσης τάσης (MT), αποτελούνται από γραμμές σε τάσεις 2kV, 20kV ή 15kV και καταλήγουν σε γραμμές χαμηλής τάσης (XT), 400/230 V. Η τιμή 230V είναι η μονοφασική (η τάση μεταξύ γραμμής, ουδέτερου) που έχουμε στις κατοικίες. Η τιμή 400V είναι η πολική τάση στο τριφασικό σύστημα (η τάση μεταξύ δύο γραμμών). Ισχύει $400 = 230\sqrt{3}$.



Εικόνα 3. Μετασχηματιστής (Μ/Σ) ανυψώνει την τάση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για να μεταφερθεί με τις τριφασικές γραμμές μεταφοράς υπό συνθήκες υψηλής τάσης, σε μεγάλες αποστάσεις. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια φθάσει στο τόπο κατανάλωσης, Μ/Σ υποβιβάζει την τάση στα 400V πολική τιμή (δηλαδή 230V φασική τιμή), για να ηλεκτροδοτήσει κατοικίες, κλπ



Εικόνα 4. Αριστερά: Μετασχηματιστής (Μ/Σ) ανυψώνει την τάση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για να μεταφερθεί με τις γραμμές μεταφοράς υπό συνθήκες υψηλής τάσης, σε μεγάλες αποστάσεις. **Στην Ελλάδα, η ΑΔΜΗΕ ΑΕ είναι ο ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ είναι ο διαχειριστής ελληνικού δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ισχύος.** Δεξιά: Στο τέλος της διανομής, Μ/Σ υποβιβάζει την τάση σε χαμηλή τάση, ΧΤ, 400V/230V .



Εικόνα 5 Αριστερά: Παράδειγμα στύλου διανομής ισχύος. Δεξιά: Μετρητής ΔΕΗ μονοφασικής ηλεκτροδότησης κατοικίας.



Εικόνα 6. Αριστερά: Ο μετρητής ΔΕΗ κατοικίας, υπολογίζει μόνο την ενεργή ηλεκτρική **ενέργεια** που ρέει στο κύκλωμα της κατοικίας, σε kWh. $kWh = kW \times h$. Δεξιά: Από τον πίνακα διακλαδίζονται παράλληλα όλες οι πρίζες της κατοικίας.

Συμβάσεις πρόσημων ισχύος πηγής και καταναλωτή

Ορίζονται δυο συμβάσεις, η σύμβαση της πηγής ή γεννήτριας και η σύμβαση του καταναλωτή, με τρόπο ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Η ενέργεια που δίνεται σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα από μια πηγή ισούται με το άθροισμα της ενέργειας που το κύκλωμα καταναλώνει και της ενέργειας που παράγει.

Στην σύμβαση της πηγής ή γεννήτριας, κάθε ηλεκτρικό μέγεθος (ρεύμα, ισχύς) που βγαίνει από την πηγή ως προς το υπόλοιπο κύκλωμα θεωρείται θετικό και κάθε μέγεθος (ρεύμα, ισχύς) που μπαίνει αρνητικό.

Στην σύμβαση του καταναλωτή, ισχύουν τα αντίστροφα που ισχύουν στην πηγή. Κάθε ηλεκτρικό μέγεθος (ρεύμα, ισχύς) που μπαίνει στον καταναλωτή είναι θετικό και ότι βγαίνει αρνητικό.

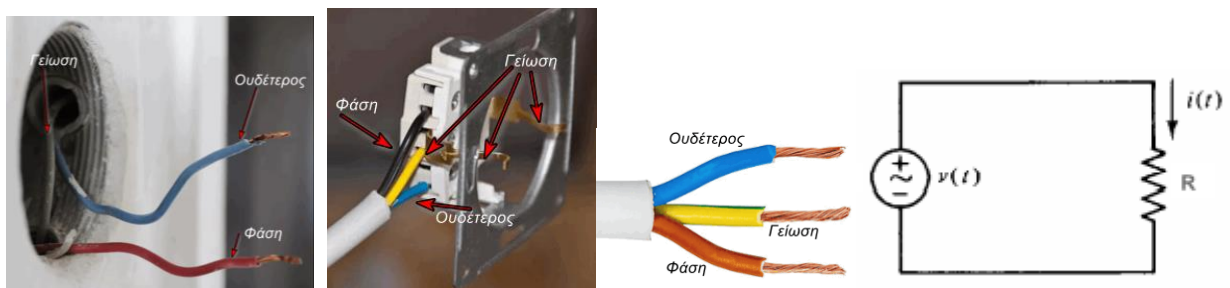
Ροή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα κύκλωμα

Η ροή νερού είναι ανάλογη της ροής ηλεκτρονίων. Όπως για την ροή του νερού σε ένα σωλήνα χρειάζεται διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου του σωλήνα, έτσι και για την ροή των ηλεκτρικών φορτίων (ηλεκτρονίων) μέσα από ένα σύρμα, χρειάζεται διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού (Volt). Η πίεση ($1\text{N/m}^2=1\text{Pascal}$, $1\text{Psi}=6895\text{Pascal}$, $1\text{atm}=101300\text{Pascal}$, $1\text{bar}=100.000\text{Pascal}$) είναι ανάλογο μέγεθος της ηλεκτρικής τάσης (Volt).

Στους σωλήνες μεταφοράς νερού μεγαλύτερης διατομής, υπό συνθήκες ίδιας πίεσης, μεταφέρεται μεγαλύτερη ποσότητα νερού στη μονάδα χρόνου, έτσι και στα σύρματα μεγάλης διατομής, υπό συνθήκες ίδιας τάσης, επιτρέπεται η ροή περισσότερων ηλεκτρονίων. Το φυσικό μέγεθος της διατομής του καλωδίου καθορίζει πόσο ρεύμα (Ampere) μπορεί να ρέει σε αυτό με ασφάλεια.

Η ισχύς είναι ο ρυθμός ροής ενέργειας. Οι ισχείς είναι βαθμωτά μεγέθη, ή αλλιώς μονόμετρα μεγέθη, δηλαδή **δεν είναι διανύσματα**, περιγράφονται μόνο με το μέτρο τους. Η φορά όμως της ροής της ισχύος σε ένα κύκλωμα είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των στοιχείων εκείνων που λειτουργούν σαν **πηγές ισχύος**, παράγοντας ηλεκτρική ισχύ και εκείνων που λειτουργούν σαν **φορτία ισχύος**, καταναλώνοντας ηλεκτρική ισχύ. Συνήθως το πρόσημο και συνεπώς και η φορά ροής της ισχύος καθορίζεται από τη φορά του ρεύματος και την πολικότητα της τάσης.

Σε ένα μονοφασικό κύκλωμα εναλλασσόμενης πηγής, όπως στην Εικόνα 7, που αποτελείται από ένα ρευματοφόρο αγωγό (την φάση) και έναν αγωγό επιστροφής (τον ουδέτερο), το ρεύμα θεωρείται ότι ρέει από την πηγή προς τον καταναλωτή από τον αγωγό της φάσης (τον σχεδιάζουμε πάντα σαν τον από πάνω αγωγό) και επιστρέφει στην πηγή από τον ουδέτερο (τον σχεδιάζουμε από κάτω), δεν συμβαίνει κάτι αντίστοιχο με την ηλεκτρική ισχύ.



Εικόνα 7. Αριστερά: Πρίζα οικιακής εγκατάστασης, δίνει μονοφασική τάση 230V rms , 50Hz (μεταξύ φάσης και ουδέτερου). Στην οικιακή εγκατάσταση μπορεί η φάση να είναι συνδεδεμένη με την γείωση (ουδετερογείωση). Δεξιά: Μονοφασικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Κατά σύμβαση, στο σύμβολο της πηγής, συμφωνούμε ότι το ρεύμα ρέει από το πάνω μέρος της πηγής και επιστρέφει από το κάτω μέρος. Συμβολίζουμε τον αγωγό φάσης της πηγής από πάνω (+), τον ουδέτερο από κάτω (-).

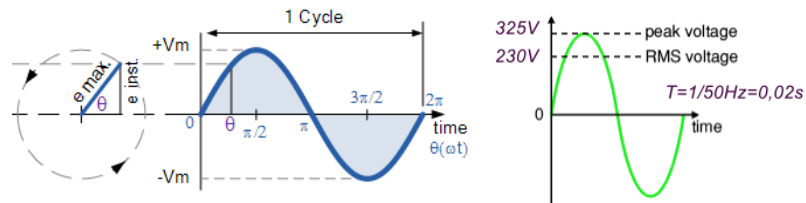


Εικόνα 8. Αριστερά: Ράβδος γείωσης ηλεκτρικής εγκατάστασης τοποθετείται στη γη, σε επαφή με το χώμα. Δεξιά: ράβδοι γείωσης στρογγυλής διατομής διαμέτρου Φ17 (17mm), μήκους 1500mm. Ο αγωγός της γείωσης της κάθε πρίζας είναι συνδεδεμένος με την ράβδο γείωσης της κατοικίας.

Επειδή το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο, η ηλεκτρική ισχύς ρέει από την πηγή προς τον καταναλωτή και από τους δυο αγωγούς. Για την ακρίβεια, το ρεύμα ρέει μέσα από τους αγωγούς, ισχύει η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου (το φορτίο δεν μετασχηματίζεται σε κάτι άλλο, όσο φορτίο εισέρχεται σε έναν αγωγό, το ίδιο εξέρχεται) ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται έξω από τους αγωγούς από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που τους περιβάλλει. Έτσι ο αγωγός λειτουργεί απλά σαν κυματοδηγός, κάτι σαν τη γραμμή σε ένα σιδηρόδρομο, για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Χαρακτηριστικά μονοφασικής χαμηλής τάσης (ΧΤ) για την ηλεκτροδότηση κατοικιών

- Η τάση που ηλεκτροδοτούνται οι κατοικίες στην Ευρώπη και στην Ελλάδα είναι μονοφασική, **μέτρου ενεργής τιμής 230V**, (ενεργή τιμή, ή αλλιώς **rms**, είναι η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης), **συχνότητας 50Hz**.



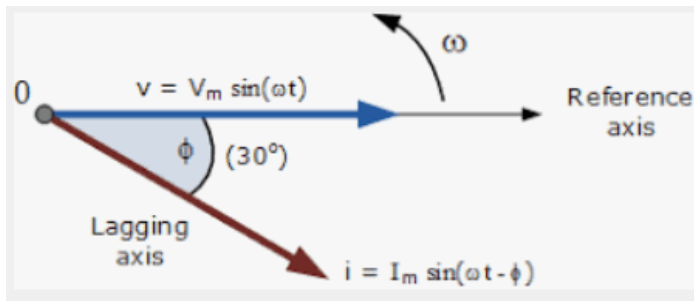
Εικόνα 9. Απεικόνιση της χρονικής εξίσωσης χαμηλής τάσης τάσης, 230V rms 50Hz, $v(t) = 325 \sin(2\pi 50t)$, $230 = \frac{325}{\sqrt{2}}$. Τα

αμπερόμετρα, βολτόμετρα, μετρούν rms τιμές. Ο ορισμός της rms (root mean square) τιμής ορίζεται από σχέση

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt}$$

- Η χρονική εξίσωση της ημιτονικής τάσης χαμηλής τάσης συχνότητας 50Hz, είναι $v(t) = 325 \sin(2\pi 50t)$,
όπου 325 είναι η μέγιστη τιμή της τάσης (V). Η ενεργή τιμή της τάσης υπολογίζεται $230 = \frac{325}{\sqrt{2}}$
- Η αναπαράσταση της χαμηλής τάσης συχνότητας 50Hz, και του ρεύματος που έχουν διαφορά φάσης¹ γωνία φ, με Phasors, ή αλλιώς περιστρεφόμενα διανύσματα είναι: $\hat{V}_{rms} = 230 \angle 0^\circ$, $\hat{I}_{rms} = \frac{230 \angle 0^\circ}{\text{αντίσταση}}$

¹ Η διαφορά φάσης δείχνει με ποια χρονική καθυστέρηση δύο σήματα παίρνουν την μέγιστη, ή την ελάχιστη τιμή τους. Όταν η διαφορά φάσης είναι μηδέν σημαίνει ότι συμβαδίζουν, δηλαδή μηδενίζονται, παίρνουν την μέγιστη ή ελάχιστη τιμή τους την ίδια χρονική στιγμή.



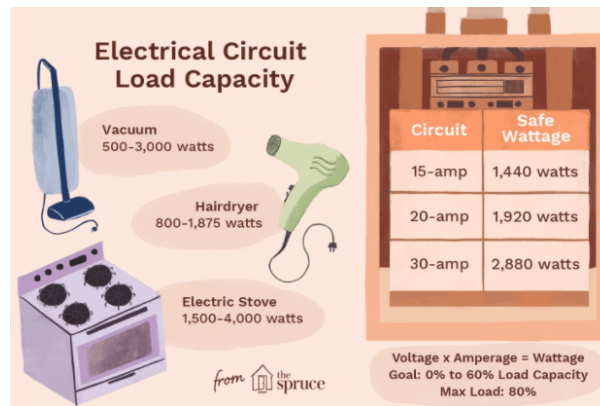
Αν η σύνθετη² αντίσταση περιέχει αντιστάτη³ και την **άεργη αντίσταση** πηνίου⁴, πχ.

$$\hat{Z} = 10\Omega + j5,77\Omega = 11,55\angle 30^\circ \Omega$$

Τότε

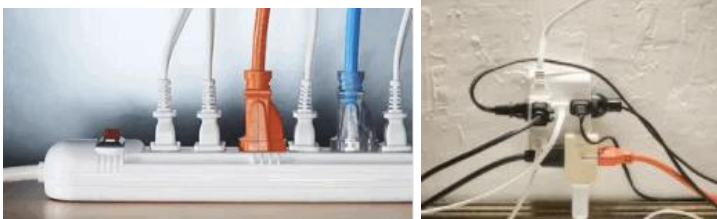
$$\hat{I}_{rms} = \frac{230\angle 0^\circ}{11,55\angle 30^\circ} = 19,9\angle -30^\circ \text{ A}$$

- Μια AC ηλεκτρική εγκατάσταση, πχ μιας κατοικίας στην Ευρώπη, ηλεκτροδοτεί πολλές ηλεκτρικές συσκευές διαφορετικής ισχύος, συνδεδεμένες παράλληλα στην μονοφασική τάση τροφοδοσίας της κατοικίας.



Εικόνα 10. Για την ηλεκτροδότηση μιας ηλεκτρικής κουζίνας 4kW, η διατομή των αγωγών (σύρμα) είναι μεγαλύτερη από αυτήν για συσκευή στεγνωτήρα μαλλιών 800W.

- Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές της κατοικίας συνδέονται μέσω πρίζας μέτρου 230V. Το μέτρο και η φάση των 230V δεν επηρεάζονται από τα φορτία της κατοικίας. Αυτό που αλλάζει είναι το μέτρο και η φάση της έντασης του ρεύματος που ρέει στο κύκλωμα (σύρμα) που τροφοδοτεί την κάθε συσκευή.
- Η ηλεκτρική ισχύς εισέρχεται στο σπίτι από τον ηλεκτρικό πίνακα, όλες οι πρίζες (μονοφασικές) είναι συνδεδεμένες παράλληλα στον ηλεκτρικό πίνακα, όλες οι πρίζες δίνουν 230V, 50Hz.



² Η σύνθετη αντίσταση παριστάνεται με μιγαδικό αριθμό, που γράφεται είτε σε καρτεσιανή μορφή $a + jb$, είτε σε πολική μορφή $\sqrt{a^2 + b^2} \angle \varphi$, όπου $\tan \varphi = \frac{b}{a}$

³ Η ωμική αντίσταση παριστάνεται με πραγματικό αριθμό, πχ $R=10\Omega$

⁴ Η **άεργη αντίσταση** του πηνίου παριστάνεται με φανταστικό αριθμό, jX_L , πχ $j5,77\Omega$

Το μέτρο της **άεργης αντίστασης** πηνίου στα 50Hz υπολογίζεται ως $X_L = 2\pi 50L = 314L \Omega$, όπου L τιμή πηνίου σε Henry.

Εικόνα 11. Από μια πρίζα (πολύπριζο) μπορεί να ηλεκτροδοτηθούν παράλληλα πολλές συσκευές. Όλες θα δέχονται τάση 230V, αλλά το ρεύμα που θα δίνει η πρίζα (πολύπριζο) θα είναι το άθροισμα των ρευμάτων κάθε συσκευής. Λειτουργία πολλών συσκευών συγχρόνως θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλού ρεύματος (Ampere) με κίνδυνο υπέρτασης.

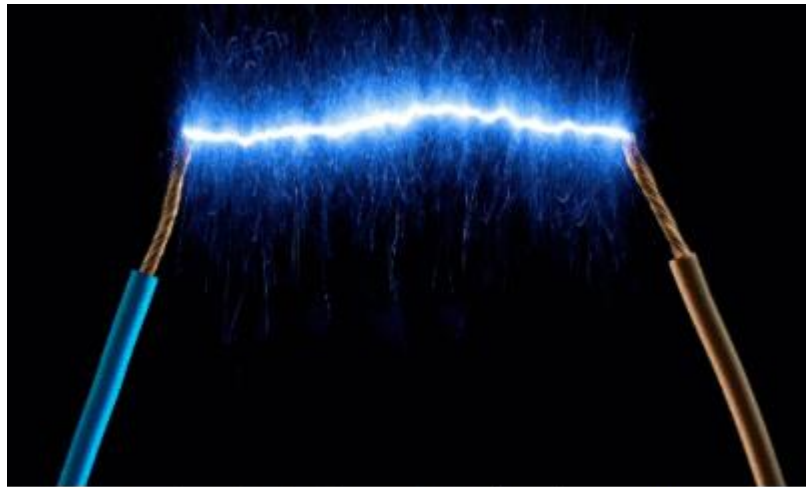
- Συνήθως, οι οικιακές συσκευές είναι **ωμικές (αντιστάτες)** που μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ σε θερμική (φαινόμενο Joule, $P = i^2 R$, Watt): όπως βραστήρας, θερμοσίφωνο, καλοριφέρ λαδιού, και **σύνθετες που περιέχουν άεργη αντίσταση με επαγωγικό χαρακτήρα**. Αυτές είναι οι συσκευές που περιέχουν ηλεκτρικό κινητήρα⁵: όπως κινητήρας ηλεκτρικής σκούπας, μίξερ, αποχυμωτή, τρυπάνι, κλιματιστικά, κλπ.
- **Η σύνθετη αντίσταση των ηλεκτρικών κινητήρων** των συσκευών χαρακτηρίζεται ως **σύνθετη επαγωγική αντίσταση** γιατί **περιέχουν την άεργη αντίσταση των πηνίων** (κάποιοι κινητήρες περιέχουν και πυκνωτή για την εκκίνησή τους, αλλά τα πηνία του κυκλώματος επικρατούν, δηλαδή η άεργη αντίσταση των πηνίων είναι μεγαλύτερη από την άεργη αντίσταση των πυκνωτών).
- **Ονομαστική ισχύς ηλεκτρικής συσκευής**, είναι το σύνολο της ισχύος που χρειάζεται για να λειτουργεί, ονομάζεται φαινόμενη ισχύς, μετρείται σε πολλαπλάσια του VA.
- Για να λειτουργήσει μια ηλεκτρική συσκευή, πχ. ένας ηλεκτρικός κινητήρας, η ηλεκτρική ισχύς παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο **μέσω της πρίζας** και εισέρχεται στο κύκλωμα της ηλεκτρικής συσκευής. Η ηλεκτρική ισχύς **θα μοιραστεί σε ενεργή και άεργη**, το σύνολο εισερχόμενης ισχύος ονομάζεται **σύνθετη ή αλλιώς φαινόμενη ισχύς (apparent power)**. Η αναλογία σε ενεργή και άεργη εξαρτάται από την αναλογία αντιστάτη – επαγωγικής αντίστασης (άεργη αντίσταση πηνίου) της σύνθετης αντίστασης που παρουσιάζει ο κινητήρας και περιγράφεται από την **τιμή του συντελεστή ισχύος**.
- Προσοχή, στο δίκτυο η ενεργή και η άεργη ισχύς δεν ρέουν σαν ξεχωριστές οντότητες.
- Η ηλεκτρική ισχύς που **αποθηκεύεται στα πηνία ονομάζεται άεργη** επειδή δεν παράγει έργο, και για αυτό μπορεί να αποδοθεί πίσω στο δίκτυο.
- Στο κύκλωμα του κινητήρα, η ηλεκτρική ισχύς που **μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια** και η ηλεκτρική ισχύς που **μετατρέπεται σε θερμότητα (φαινόμενο Joule)**, **ονομάζονται ενεργή ισχύς**.
- Το μέτρο της επαγωγικής αντίστασης ενός φορτίου (πχ μιας ηλεκτρικής μηχανής) προσδιορίζει πόσο αλλάζει η φάση καθυστέρησης του ρεύματος ως προς την τάση της πηγής. Όσο μεγαλύτερη η τιμή των πηνίων (Henry), τόσο μεγαλύτερη η τιμή της επαγωγικής αντίστασης, τόσο προκαλείται μεγαλύτερη καθυστέρηση στο ρεύμα που τα διαρρέει.

Η ηλεκτρική ισχύς που αποθηκεύεται στα πηνία μιας ηλεκτρικής συσκευής είναι περισσότερη όταν η τιμή των πηνίων (Henry) είναι μεγαλύτερη, γιατί τα πηνία αποθηκεύουν **ηλεκτρική ενέργεια (Joule)** στο χώρο τους, που υπολογίζεται από την σχέση $\frac{1}{2} Li^2$ (Joule). Προσοχή, η άεργη ισχύς που αποθηκεύεται στα πηνία, Var, είναι ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας, Joule.

Η άεργη ηλεκτρική ισχύς (Var) που αποθηκεύεται στα πηνία παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της πρίζας, αποδεικνύεται ότι υπολογίζεται από το γινόμενο του διανύσματος της τάσης της πρίζας (η τάση του δικτύου έχει σταθερό μέτρο και φάση, ανεξάρτητα του ηλεκτρικού κυκλώματος του φορτίου) επί το μέτρο του ρεύματος που ρέει στην συσκευή⁶, επί το \sin της γωνίας της καθυστέρησης του ρεύματος, $Q = 230 \angle 0^\circ |I_{rms}| \cdot \sin \varphi$ (Var).

⁵ Οι ηλεκτρικοί κινητήρες κατασκευάζονται από πηνία.

⁶ Το μέτρο του ρεύματος μειώνεται πολύ λιγότερο από την αύξηση του μέτρου της σύνθετης αντίστασης από ότι με την αύξηση της διαφοράς φάσης του με την τάση.

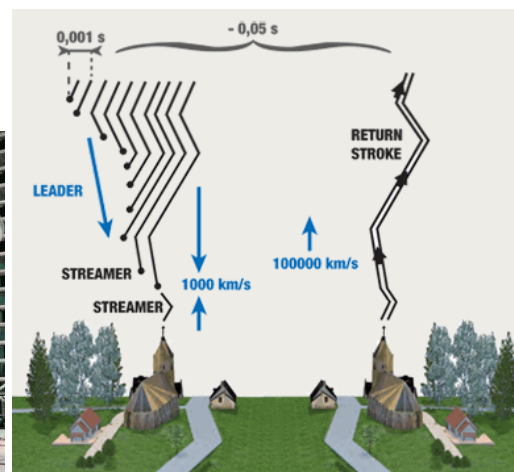


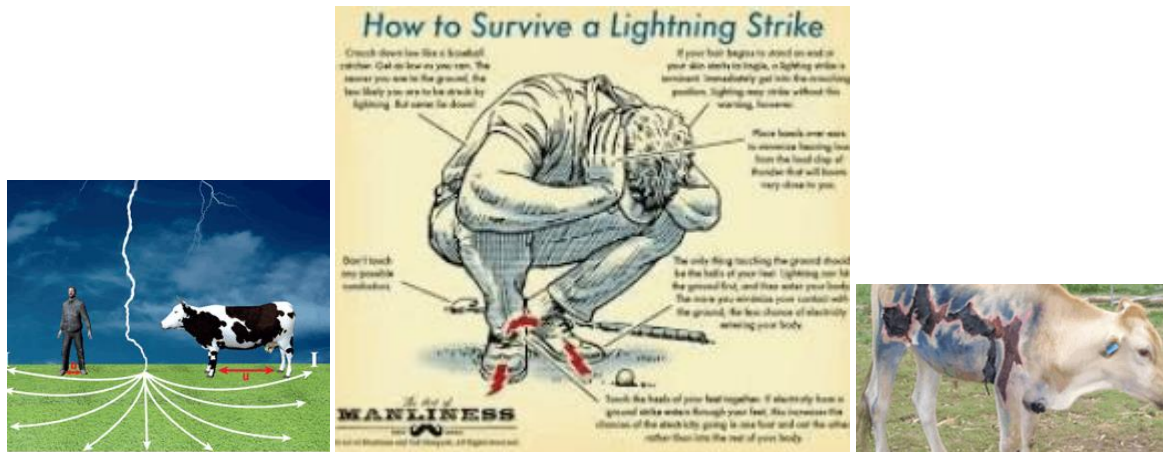
| Victor De Schwanberg/Science Photo Library/Getty Images

Εικόνα 12. Η ροή ρεύματος και η μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να γίνει μέσα από αέρα (ο ξηρός αέρας είναι κακός αγωγός ηλεκτρισμού), αν μεταξύ των άκρων των αγωγών υπάρχει η μεγάλη διαφορά δυναμικού και αν υπάρχει υγρασία στον αέρα. Η διαφορά δυναμικού προκαλεί ιονισμό της υγρασίας στον αέρα, οπότε τα ηλεκτρικά φορτία του αέρα ρέουν από το υψηλότερο δυναμικό στο χαμηλότερο.

Φυσικές ηλεκτρικές εκκενώσεις: αστραπές - κεραυνοί

Οι αστραπές θεωρούνται κεραυνοί ανεξάρτητα αν η ηλεκτρική εκκένωσή τους φθάνει στο έδαφος ή όχι. Έτσι ορίζεται ότι: "Οποιαδήποτε ηλεκτρική εκκένωση που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα και οφείλεται σε φυσικά αίτια ονομάζεται κεραυνός". Αστραπή λέγεται η ηλεκτρική εκκένωση που είναι δυνατόν να συμβεί ανάμεσα σε δύο νέφη, ή μεταξύ δύο διαφορετικών τμημάτων του ίδιου του νέφους, όταν υπάρχει συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού στα σύννεφα (συνήθως αρνητικό φορτίο) ικανή να υπερβεί τη φυσική αντίσταση του ατμοσφαιρικού αέρα. Το σύννεφο συμπεριφέρεται σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο, με το θετικό του μέρος προς τα κάτω. Όταν υπάρχει υγρασία στον αέρα (σταγονίδια νερού) αυξάνεται η αγωγιμότητα του αέρα και εξαιτίας του ηλεκτρικού πεδίου (τάσης) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, δημιουργείται ροή ηλεκτρικού φορτίου διαμέσου του αέρα, που συνοδεύεται από μια λάμψη. Η ηλεκτρική εκκένωση είναι διηλεκτρική διάσπαση και δημιουργία σπινθήρα, απελευθερώνει μεγάλα ποσά ενέργειας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής ξοδεύεται για τη θέρμανση του αέρα, αναπτύσσονται θερμοκρασίες χιλιάδων βαθμών Κελσίου. Η απότομη θέρμανση εξαναγκάζει τον αέρα να διασταλεί απότομα, δημιουργώντας ένα κύμα κρούσης την λεγόμενη βροντή.





Εικόνα 13. Πάνω αριστερά: Ο κεραυνός μπορεί να επηρεάζει περισσότερο τις εναέριες γραμμές διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Πάνω κέντρο: τεστ κεραυνού σε εργαστήριο. Πάνω δεξιά: Το μήκος του κεραυνού είναι αρκετά χιλιόμετρα και έχει τεθλασμένη κυματοειδή μορφή. Μπορεί να είναι κατερχόμενος ή ανερχόμενος σχετός. Η προεκκένωση ακολουθείται από εκκένωση επιστροφής. Κάτω αριστερά: Όταν κεραυνός πλήττει το έδαφος, εκφορτίζει ρεύμα, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων στήριξης μεγάλων ζώων είναι μεγαλύτερη λόγω του μεγαλύτερου ανοίγματος των άκρων τους. Κάτω δεξιά: Στάση για επιβίωση σε περίπτωση παρουσίας μας σε πεδίο κεραυνών. Πηγή: <https://earlstreameremission.com/en/home/>

Κεραυνός συνηθίζεται να λέγεται η ηλεκτρική εκκένωση που είναι δυνατόν να συμβεί μεταξύ νέφους και εδάφους. Όταν το σύννεφο εκφορτίζει στο έδαφος, το ηλεκτρικό πεδίο στη γη φθάνει στα 400 έως 500kV/m, ενώ το φυσιολογικό στη γη είναι 0,13kV/m. Ο κεραυνός μπορεί να επηρεάζει τις εναέριες γραμμές διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Η διαφορά του δυναμικού που δημιουργεί την ηλεκτρική εκκένωση στον κεραυνό κυμαίνεται από 20 έως 120kV, και το ρεύμα που ρέει από 5kA ως 200kA. Η ισχύς που μεταφέρει υπολογίζεται ως $P=100 \times 10^3 \text{ A} \times 100 \times 10^3 \text{ V} = 10^{10} \text{ W}$, σε χρονική διάρκεια περίπου 1 second, η ενέργεια που μεταφέρεται είναι 10^{10} Joule^7 . Ανάγοντας την ενέργεια αυτή σε 1 ώρα, η ενέργεια μετριέται σε Wh ως εξής;

$$10^{10}/3600=2,7 \times 10^6 \text{ Wh}=2700 \text{ kWh}$$

Ηλεκτρική κατάσταση της γης

Η γη εμφανίζεται μόνιμα φορτισμένη με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξης των $5 \times 10^5 \text{ C}$. Το αρνητικό αυτό φορτίο προκαλεί στην επιφάνεια της γης, υπό συνθήκες καλοκαιρίας, ένα ηλεκτρικό πεδίο με κατεύθυνση δυναμικών γραμμών από την ατμόσφαιρα προς την γη και η ένταση του ηλεκτρικού αυτού πεδίου είναι γύρω στα 0,13kV/m. Ισοδύναμη ποσότητα θετικού φορτίου παραμένει στην ατμόσφαιρα παρουσιάζοντας μεγαλύτερη πυκνότητα στα χαμηλότερα στρώματα. Η παρουσία αυτού του κατανεμημένου θετικού φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα της προοδευτική μείωση του πεδίου της γης με το ύψος. Εξαιτίας αυτού του κατακόρυφου πεδίου η γη έχει μια τάση της τάξης των 300kV σε σχέση με τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Σύνοψη

Το σύμβολο S δηλώνει φαινόμενη ισχύ, με μονάδες μέτρησης VA και τα πολλαπλάσιά τους kVA, MVA (προφέρονται ως «βολταμπέρ», «καβεά», «εμβεά»).

Η φαινόμενη ισχύς αποτελεί μια ένδειξη των συνολικών απαιτήσεων ενός καταναλωτή τόσο σε ενεργή, όσο και σε άεργη ισχύ. Ενώ οι απαιτήσεις των καταναλωτών σε ενεργή ισχύ αποτελούν άμεση ένδειξη των ικανοτήτων παραγωγής αντίστοιχου ποσού έργου (ή αντίστοιχα κατανάλωσης ενέργειας), οι αντίστοιχες

⁷ $1 \text{ Watt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ s}}$

απαιτήσεις για άεργη ισχύ σχετίζονται άμεσα με τη κατασκευαστική δομή του καταναλωτή και μπορούν να εκφραστούν έμμεσα με την φαινόμενη ισχύ. Για το λόγο αυτό η φαινόμενη ισχύς χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τη διαστασιολόγηση των ηλεκτρικών συσκευών, χαρακτηριζόμενη **σαν ονομαστική ισχύς ή ισχύς διαστασιολόγησης (nominal – rated power)**.

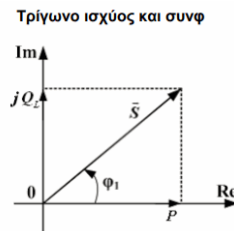
Η Φαινόμενη ισχύς περιγράφεται με μιγαδικό αριθμό,

Μιγαδικός σε καρτεσιανή μορφή: $S = P \pm jQ$

Μιγαδικός σε πολική μορφή: $S = |S| \angle \pm \varphi^\circ = \left(\sqrt{P^2 + Q^2} \right) \angle \pm \varphi^\circ$

Η φαινόμενη ισχύς μοιράζεται σε ενεργή που παράγει έργο και δεν επιστρέφεται στην πηγή και την άεργη που αποθηκεύεται προσωρινά στο κύκλωμα και όταν δεν λειτουργεί η συσκευή αποδίδεται πίσω στο δίκτυο.

Αποδεικνύεται ότι ισχύει το ορθογώνιο τρίγωνο ισχύων, όπως στην Εικόνα 14. Η ενεργή και η άεργη ισχύς είναι οι κάθετες πλευρές, η φαινόμενη είναι η υποτείνουσα. Η σχέση καθετότητας προκύπτει λόγω του ιδανικού πηνίου, προκαλεί καθυστέρηση⁸ του ρεύματος ως προς την τάση κατά 90° , ενώ ο ιδανικός πυκνωτής προήγηση κατά 90° .



Εικόνα 14. Η άεργη ισχύς αναπαρίσται γραφικά στον φανταστικό άξονα του μιγαδικού επιπέδου, ενώ η ενεργή στον πραγματικό άξονα. Ένα σύνθετο φορτίο που περιέχει περισσότερα πηνία από πυκνωτές, παρουσιάζει συνολικά επαγωγική συμπεριφορά, αποθηκεύει άεργη ισχύ Q , που συμβολίζεται με θετικό φανταστικό αριθμό. Η ενεργή ισχύς P συμβολίζεται με πραγματικό αριθμό, παράγει την ωφέλιμη ενέργεια (πχ ο κινητήρας παράγει κινητική ενέργεια, η σόμπα παράγει θερμική ενέργεια, κλπ.). Η συνολική ισχύς S που απορροφά το φορτίο από την πηγή ηλεκτρικής ισχύος έχει μέτρο που υπακούει στο πυθαγόρειο θεώρημα.

Η τάση και η ένταση ρεύματος περιγράφονται με φάσορες (Phasors) ή αλλιώς περιστρεφόμενα διανύσματα):

$$\hat{V} = |V| \angle 0^\circ$$

$$\hat{I}_{rms} = |I_{rms}| \angle \varphi^\circ$$

Σχηματίζοντας το γινόμενο τάσης x ρεύμα πηγής υπολογίζεται η φαινόμενη ισχύς:

$$\hat{V} \cdot \hat{I}_{rms} = |V| \angle 0^\circ \cdot |I_{rms}| \angle \pm \varphi^\circ = |V| \cdot |I_{rms}| \angle \pm \varphi^\circ = |V| \cdot |I_{rms}| \cos \varphi + |V| \cdot |I_{rms}| \sin \varphi = P + jQ = \hat{S}$$

Εφόσον η ενεργή και η άεργη ισχύς αποτελούν το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της φαινόμενης ισχύος αντίστοιχα, προκύπτουν οι προφανείς σχέσεις:

⁸ Ένα σήμα καθυστερεί σε φάση με άλλο ίδιας συχνότητας, σημαίνει ότι παίρνει την μέγιστη, ή ελάχιστη ή μηδενική τιμή του, κλπ σε διαφορετική στιγμή από το άλλο. Μια περίοδος, T , αντιστοιχεί σε έναν κύκλο ταλάντωσης, 360 μοίρες.

$$P = S \cos \varphi \Rightarrow \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$Q = S \sin \varphi \Rightarrow \sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

Ενεργή ισχύς: συμβολίζεται με το P, έχει μονάδα μέτρησης Watt, περιγράφεται με πραγματικούς αριθμούς, έχει θετική τιμή. Πχ. Βραστήρας 500W

Άεργη ισχύς: Έχει σύμβολο το Q, μονάδα μέτρησης Var ή VAR, περιγράφεται με τους φανταστικούς αριθμούς, ως $\pm jQ$. Πχ. $\pm j50$ Var

Σύνθετη ή φαινόμενη ισχύς: συμβολίζεται με το S, έχει μονάδα μέτρησης VA, περιγράφεται με μιγαδικούς αριθμούς. Πχ. Κινητήρας $300\text{VA} \angle 60^\circ = 150\text{W} + j259,81\text{Var}$

$$\text{Όπου } 300 = \sqrt{150^2 + 259,81^2}, \tan \varphi = \frac{259,81}{150} = 1,732 \Leftrightarrow \varphi = 60^\circ$$

Μια συσκευή με κύκλωμα πηνίων, όσο λειτουργεί αποθηκεύει στο χώρο τους μαγνητικό πεδίο, κατά την λειτουργία της πάντα απορροφά ισχύ, κατά σύμβαση έχει πάντα θετική τιμή,

$$+jQ = |Q| \angle +90^\circ$$

Η άεργη ισχύς αποτελεί το απαραίτητο εκείνο συστατικό για τη 'συντήρηση' του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που απαιτείται έτσι ώστε η χρήσιμη ενεργή ισχύς να μεταφερθεί από μια πηγή σε έναν καταναλωτή μμέσα από τους αγωγούς.

Συντελεστής ισχύος

- Εκφράζει, το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η ενεργή ισχύς ενός καταναλωτή σε σχέση με τη φαινόμενη ισχύ του, άρα και έμμεσα σε σχέση με την αντίστοιχη άεργη ισχύ.
- Ο συντελεστής ισχύος είναι, από τον ορισμό του, μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα, εκφράζοντας έτσι και την αντίστοιχη αναλογία ενεργού – φαινόμενης ισχύος.
- Όταν ο συντελεστής ισχύος είναι ίσος με τη μονάδα, η φαινόμενη ισχύς είναι ίση με την ενεργή και η αντίστοιχη άεργη ίση με μηδέν.

$$\cos \varphi = \frac{P}{|S|}$$

- Στις σύνθετες επαγωγικές αντιστάσεις, που περιέχουν πηνία και αντιστάτες, η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης – ρεύματος, πάντα η φάση είναι αρνητική (καθυστερεί), ισχύει πάντα $0^\circ < |\varphi| < 90^\circ$
- Τα πηνία πάντα παρουσιάζουν θετική άεργη αντίσταση, $(+jX_L)$

- Για τις σύνθετες επαγωγικές αντιστάσεις ισχύει πάντα $Z = R + jX_L$
- Στις σύνθετες επαγωγικές αντιστάσεις, που περιέχουν πηνία και αντιστάτες, ισχύει πάντα $S = P + jQ = \left(\sqrt{P^2 + Q^2} \right) \angle +\varphi^\circ$

Πχ. Πχ. Κινητήρας 300VA $\angle 60^\circ = 150W + j259,81Var$

$$\text{Όπου } 300 = \sqrt{150^2 + 259,81^2}, \tan \varphi = \frac{259,81}{150} = 1,732 \Leftrightarrow \varphi = 60^\circ$$

$$\text{Ή } \cos \varphi = \frac{P}{|S|} = \frac{150}{300} = 0,5 \Leftrightarrow \varphi = 60^\circ$$

Ο συντελεστή ισχύος $\cos \varphi 60^\circ = 0,5$ είναι επαγωγικός γιατί η άεργη ισχύς είναι $+j259,81Var$, θετική.

Ρεύμα που διαρρέει πηνίο

Το ρεύμα που διαρρέει ένα σύνθετο φορτίο με πηνία, πάντα καθυστερεί σε φάση σε σχέση με την τάση της πηγής.

Η τάση της πηγής ορίζεται σαν αναφορά φάσεων, $0^\circ, \hat{V} = |V| \angle 0^\circ$

Το ρεύμα έχει μέτρο και φάση, $\hat{I}_{rms} = |I_{rms}| \cos(-\varphi^\circ)$

Η φάση δείχνει ότι το ρεύμα καθυστερεί ως προς την τάση, είναι $-\varphi^\circ$ και υπολογίζεται από την σχέση

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$$

Αν υπάρχει και πηνίο και πυκνωτής στο κύκλωμα, τότε για την τιμή της συνιστάμενης φάσης ισχύει η σχέση

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$

Αν δεν υπάρχει πυκνωτής και αντιστάτης στο κύκλωμα, και το πηνίο είναι ιδανικό, τότε ισχύει

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{0} = 90^\circ$$

Η άεργη ισχύς μπορεί να υπολογισθεί από τις σχέσεις:

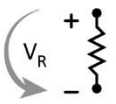
$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

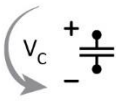
$$Q = |S| \cdot \sin \varphi$$

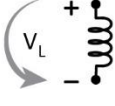
$$Q = 230 \angle 0^\circ |I_{rms}| \cdot \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

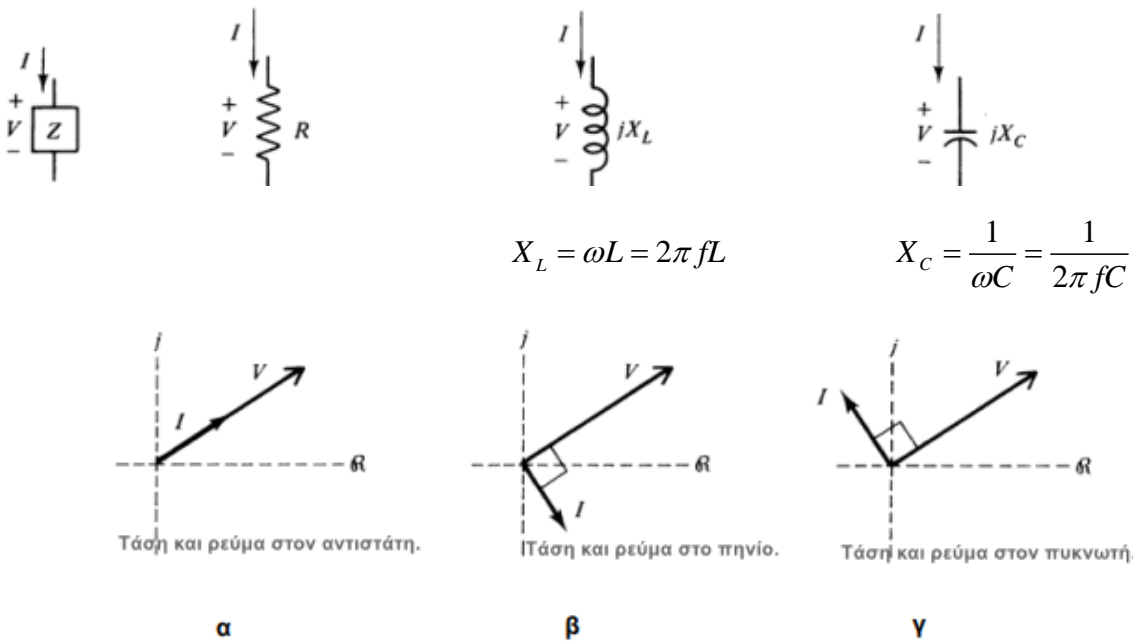
- Το **ωμικό φορτίο** δεν απορροφά (+) ούτε παράγει (-) άεργη ισχύ Q , πάντα ισχύει $Q=0$
- Το **ιδανικό επαγωγικό φορτίο** (δεν παρουσιάζει παρασιτική χωρητικότητα, αντίσταση) απορροφά μόνο άεργη ισχύ Q και έχει πρόσημο πάντα (+), $Q>0$.
- Το **ιδανικό χωρητικό φορτίο** (δεν παρουσιάζει παρασιτική αυτεπαγωγή, αντίσταση) παράγει άεργη ισχύ, και έχει πρόσημο πάντα (-), $Q<0$.

(1) Αντίσταση  $V_R = R i_R$ $W = i_R^2 R t$ (joule)

(2) Πυκνωτής  $i_C = C \frac{dV_C}{dt}$ $U = \frac{1}{2} C V_C^2$ (joule)

(3) Αυτεπαγωγή  $V_L = L \frac{di_L}{dt}$ $U = \frac{1}{2} L i_L^2$ (joule)

Εικόνα 15. Χρονικές εξισώσεις τάσης ρεύματος για τον ιδανικό αντιστάτη, πυκνωτή και αυτεπαγωγή (πηνίο). (1) Ο αντιστάτης καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ και παράγει θερμική ενέργεια. (2) Όταν η τάση στα άκρα φορτισμένου πυκνωτή μεταβάλλεται, επιτρέπει την ροή ρεύματος μέσα από αυτόν και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο εξωτερικό κύκλωμα, όταν η τάση είναι DC λειτουργεί σαν διακόπτης στο κύκλωμα. (3) Το πηνίο που διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα, AC, αποθηκεύει ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του.



Στοιχείο κυκλώματος	Πεδίο χρόνου	Πεδίο συχνότητας
Αντίσταση	$v(t) = R \cdot i(t)$	$\hat{V} = R \cdot \hat{I}$ ή
Πυκνωτής	$i(t) = C \cdot \frac{dv(t)}{dt}$	$\hat{I} = j\omega \cdot C \cdot \hat{V}$ ή $\hat{V} = -j \frac{1}{\omega \cdot C} \hat{I}$
Πηνίο	$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$	$\hat{V} = j\omega \cdot L \cdot \hat{I}$
Πηγή τάσης	$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_v)$	$\hat{V} = V_m \angle \theta_v$
Πηγή ρεύματος	$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_i)$	$\hat{I} = I_m \angle \theta_i$

Εικόνα 16. Εξισώσεις τάσης ρεύματος με περιστρεφόμενα διανύσματα (phasors) σε καρτεσιανή μορφή, (α) για τον ιδανικό αντιστάτη, (β) αυτεπαγωγή (πηνίο) και (γ) πυκνωτή. Σε όλα τα σχήματα η τάση στα άκρα ενός παθητικού στοιχείου ηλεκτρικού

κυκλώματος βρίσκεται σε φάση τυχαίας γωνίας θ . Στην περίπτωση του ιδανικού πηνίου, το ρεύμα που το διαρρέει καθυστερεί (ή αλλιώς ακολουθεί ή αλλιώς έπεται (*lag*)) ως προς την τάση κατά 90° . Στην περίπτωση του ιδανικού πυκνωτή, το ρεύμα που το διαρρέει προηγείται (*lead*) ως προς την τάση κατά 90° .

Πίνακας 1 Παραδείγματα χαρακτηρισμού συντελεστή ισχύος ανάλογα την σύνθετη αντίσταση. Πηγή [1]⁹

Φορτίο Z_L	ϕ_{Z_L}	$\cos \phi_{Z_L}$	Χαρακτηρισμός ΣΙ
$Z_L = 2 \Omega = 2 \angle 0^\circ \Omega$	0°	1.000	ΣΙ = 1 καθαρά ωμικός
$Z_L = j4 \Omega = 4 \angle 90^\circ \Omega$	90°	0.000	ΣΙ = 0 καθαρά επαγωγικός
$Z_L = -j7 \Omega = 7 \angle -90^\circ \Omega$	-90°	0.000	ΣΙ = 0 καθαρά χωρητικός
$Z_L = (2 + j1) \Omega = 2.24 \angle 26.57^\circ \Omega$	26.57°	0.894	ΣΙ = 0.894 επαγωγικός
$Z_L = (1 - j1) \Omega = 1.41 \angle -45^\circ \Omega$	-45°	0.707	ΣΙ = 0.707 χωρητικός

Πίνακας 2 Παραδείγματα χαρακτηρισμού συντελεστή ισχύος ανάλογα την φαινόμενη ισχύ του φορτίου. Πηγή [1]

Φαινόμενη ισχύς S_L	Χαρακτηρισμός $\cos \phi$
$S_L = 10 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$	$\cos \phi = 1$ καθαρά ωμικός
$S_L = 0 \text{ kW} + j10 \text{ kVAR}$	$\cos \phi = 0$ καθαρά επαγωγικός
$S_L = 0 \text{ kW} - j10 \text{ kVAR}$	$\cos \phi = 0$ καθαρά χωρητικός
$S_L = 8 \text{ kW} + j6 \text{ kVAR}$	$\cos \phi = 0.8$ επαγωγικός
$S_L = 8 \text{ kW} - j6 \text{ kVAR}$	$\cos \phi = 0.8$ χωρητικός

Πίνακας 3. Παραδείγματα συντελεστών ισχύος σύνθετων αντιστάσεων

α/α	$Z (\Omega)$	(Ω)	(Ω)	Μοίρες	PF= $\cos \phi$	Χαρακτηρισμός PF
1	100	$R=100, X_L=0$	$100 \angle 0^\circ$		1	Καθαρά ωμικός
2	$+j5$	$R=0, X_L=5$	$5 \angle 90^\circ$	90°	0	Καθαρά επαγωγικός
3	$100+j5$	$R=100, X_L=5$	$100.12 \angle 2.86^\circ$	2.86°	0.9	Επαγωγικός
4	$100-j5$	$R=100, X_C=5$	$100.12 \angle -2.86^\circ$	-2.86°	0.9	Χωρητικός
5	$-j5$	$R=0, X_C=5$	$5 \angle -90^\circ$	-90°	0	Καθαρά χωρητικός

Πίνακας 4. Παραδείγματα υπολογισμού τιμών άεργης αντίστασης

α/α	L (Henry)	$X_L = 2\pi fL (\Omega)$ $f=50\text{Hz}$	C (Farad)	$X_C = \frac{1}{2\pi fC} (\Omega)$ $f=50\text{Hz}$
1	1	314	1	
2	1×10^{-3}	0.314	1×10^{-3}	

⁹Κωδ. Εύδοξος Βιβλίο [13770]: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ, ΠΑΥΛΟΣ Σ. ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ

Πίνακας 5. Παραδείγματα τιμών φαινόμενης ισχύος φορτίου

α/α	PF=cosφ	Χαρακτηρισμός PF	$S(\text{VA})=P+jQ$	P (Watt)	Q (Var)	$t \tan \varphi = \frac{Q}{P}$	$S = \left(\sqrt{P^2 + Q^2} \right) \angle \varphi^\circ$ (VA)
1	1	Καθαρά ωμικός	100	100	0	0	$100 \angle 0^\circ$
2	0	Καθαρά επαγωγικός	+j5	0	5	$\frac{5}{0}$ δεν ορίζεται	$5 \angle 90^\circ$
3	0,9	Επαγωγικός	$100+j5$	100	5	$\frac{5}{100}$	$100,12 \angle 2,86^\circ$
	0,9	Επαγωγικός	$20+j1$	20	1	$\frac{1}{20} = \frac{5}{100}$	
4	0,9	Χωρητικός	$100-j5$	100	5	$\frac{-5}{100}$	$100,12 \angle -2,86^\circ$
5	0	Καθαρά χωρητικός	-j5	0	5	$\frac{-5}{0}$ δεν ορίζεται	$5 \angle -90^\circ$
6	0,9	Επαγωγικός	$40+j2$	40	2		

Παράδειγμα αποθήκευσης άεργης ισχύος σε οικιακές συσκευές

Σε κατοικία, η τάση ηλεκτροδότησης σε κάθε πρίζα είναι $230 \angle 0^\circ$ στα 50Hz.

Έστω ότι μια ηλεκτρική συσκευή με σύνθετη αντίσταση Z, ηλεκτροδοτείται μέσω μιας πρίζας.

Εξετάζουμε τα παρακάτω παραδείγματα τιμών σύνθετης αντίστασης ηλ. συσκευών:

- 1) $\hat{Z} = 100\Omega + j5\Omega = 100,12 \angle 2,86^\circ \Omega$, αντιστάτης και πηνίο
- 2) $\hat{Z} = 10\Omega + j5,43\Omega = 11,38 \angle 28,50^\circ \Omega$ αντιστάτης και πηνίο
- 3) $\hat{Z} = 10\Omega + j17,32\Omega = 22,36 \angle 60^\circ \Omega$ αντιστάτης και πηνίο
- 4) $\hat{Z} = 10\Omega + j0\Omega = 10 \angle 0^\circ \Omega$, ωμικό φορτίο
- 5) $\hat{Z} = 0\Omega + j20\Omega = 20 \angle 90^\circ \Omega$, ιδανικό πηνίο

Από τον νόμο Ohm ισχύει: αντίσταση = $\frac{\text{τάση}}{\text{ρεύμα}}$

Ο νόμος του Ohm ισχύει και για τις ωμικές αντιστάσεις και για τις σύνθετες αντιστάσεις, ισχύει για συνεχή DC τάση και για εναλλασσόμενη AC τάση.

Το ρεύμα που διαρρέει την ηλεκτρική οικιακή μας συσκευή υπολογίζεται από τον νόμο Ohm, από την σχέση

$$\hat{I}_{rms} = |I_{rms}| \angle \varphi^\circ = \frac{230 \angle 0^\circ}{\hat{Z}}, \text{ όπου } 230\text{V είναι η ενεργή τιμή της τάσης στην πρίζα της κατοικίας και } Z \text{ η τιμή}$$

της σύνθετης αντίστασης της συσκευής. Συνήθως η συσκευή περιέχει ωμικές αντιστάσεις και πηνία.

Για την συσκευή 2):

$$\hat{I}_{rms} = \frac{230 \angle 0^\circ}{\hat{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{11,38 \angle 28,50^\circ} = 20,2 \angle -28,50^\circ \text{ A}, \cos \varphi = \cos 28,50^\circ = 0,9 \text{ επαγωγικός}$$

Για την συσκευή 3):

$$\hat{I}_{rms} = \frac{230 \angle 0^\circ}{\hat{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{22,36 \angle 60^\circ} = 10,3 \angle -60^\circ \text{ A}, \cos \varphi = \cos 60^\circ = 0,5 \text{ επαγωγικός}$$

Ο συντελεστής ισχύος της συσκευής 3) είναι 0,5 επαγωγικός και υπολογίζεται και από τη σχέση

$$\cos \varphi = \frac{P}{|S|} = \frac{230 \cdot |I_{rms}| \cos(0^\circ - \varphi)}{230 \cdot |I_{rms}|}$$

Διόρθωση συντελεστή ισχύος

Οι επαγωγικοί καταναλωτές, όπως οι κινητήρες, χρησιμοποιούν την πραγματική ισχύ για παραγωγή κινητικής ενέργειας. Η άεργη ισχύς που απορροφούν αποθηκεύεται στον χώρο των πηνίων για τον σχηματισμό των μαγνητικών πεδίων στα οποία βασίζεται η λειτουργία τους. Όταν διακοπεί η λειτουργία τους, την απελευθερώνουν πίσω στο δίκτυο μέσω της πρίζας.

Οι επαγωγικές διατάξεις, όπως οι μετασχηματιστές AC/AC, μετασχηματίζουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια πάλι σε ίδια συχνότητας ηλεκτρική ενέργεια αλλά με διαφορετική τιμή τάσης. Η άεργη ισχύς που απορροφούν αποθηκεύεται στον χώρο των πηνίων τους είναι για τον σχηματισμό των μαγνητικών πεδίων στα οποία βασίζεται η λειτουργία τους. Οι ενεργειακές απώλειες είναι η ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπεται (ανεπιθύμητα) σε θερμότητα από τις αντιστάσεις των αγωγών των πηνίων.

Στο εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής, η παραγωγή ισχύος κοστίζει το ίδιο είτε αν αυτή αποδίδεται για την παραγωγή έργου, ενεργή μορφή ισχύος είτε για αποθήκευση σε πηνία (άεργη). Η επιστροφή της άεργης δεν συλλέγεται από τον παραγωγό, κυκλοφορεί μέσω των αγωγών του δικτύου, σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν την ροή ρεύματος, πιθανώς δημιουργώντας προβλήματα υπερτάσεων στους αποδέκτες της.

Η άεργη ηλεκτρικής ισχύος ενός φορτίου δημιουργεί την ανάγκη παραγωγής περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας, που η μεταφορά της είναι δαπανηρή, καθώς επιβαρύνει με επιπρόσθετη ένταση ρεύματος το σύστημα μεταφοράς (γραμμές, καλώδια, μετασχηματιστές). Για λόγους οικονομίας του δικτύου ηλεκτροπαραγωγής προσπαθούμε στην λειτουργία ειδικά κινητήρων μεγάλης ισχύος, στην βιομηχανία, αυτοί να λειτουργούν με υψηλό συντελεστή ισχύος. Όμως ένας κινητήρας έχει συγκεκριμένη σύνθετη αντίσταση, την οποία δεν μπορεί να αλλάξει ο χρήστης. Ο χρήστης όμως μπορεί να προσθέσει παράλληλα στον κινητήρα φορτισμένους πυκνωτές για να τροφοδοτούν μέρος της απαιτούμενης άεργης ισχύος στην μηχανή (αντί να την παίρνει από την ΔΕΗ). Δηλαδή οι πυκνωτές αναλαμβάνουν μέρος του ρόλου του δικτύου της ΔΕΗ.

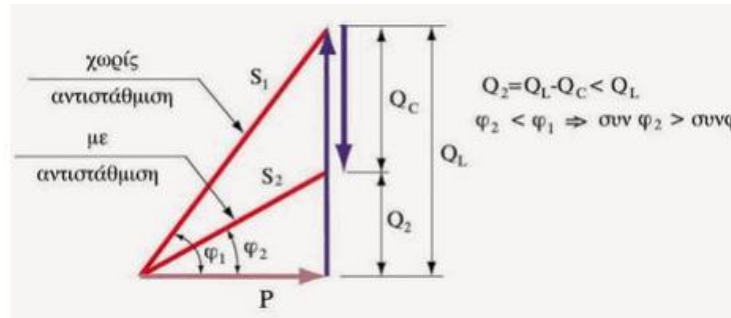
ένα μέρος της από κατάλληλα επιλεγμένες χωρητικότητες τοπικά στο σημείο του καταναλωτή. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή σαν αντιστάθμιση (compensation) ή βελτίωση του συνημιτόνου $\cos \varphi$, ή συντελεστή ισχύος, καθώς το αποτέλεσμα της είναι η ενίσχυση του ωμικού χαρακτήρα του φορτίου, δηλαδή η αύξηση του $\cos \varphi$ προς την μέγιστη δυνατή τιμή του.

Για παράδειγμα δύο κινητήρες, με συντελεστές ισχύος αντίστοιχα 0,9 και 0,5 επαγωγικούς:

$$\begin{aligned} \text{Πχ } \cos 28,5^\circ &= 0,9 \text{ επαγωγικός} \\ \cos 60^\circ &= 0,5 \text{ επαγωγικός} \end{aligned}$$

Αυτό σημαίνει ότι κινητήρας με συντελεστή ισχύος 0,5 απορροφά περισσότερη άεργη ισχύ από τον άλλο με συντελεστή ισχύος 0,9.

Αν ένα φορτίο ζητά άεργη ισχύ Q_L , αν του συνδέσουμε παράλληλα, κοντά του, έναν πυκνωτή που μπορεί να του προσφέρει Q_C , τότε όπως δείχνεται στην Εικόνα 17, το φορτίο θα πάρει από το δίκτυο την διαφορά $Q_L - Q_C$. Δηλαδή, χωρίς να αλλάξει η κατασκευή του κινητήρα, αυτός φαίνεται στο δίκτυο με μεγαλύτερο συντελεστή ισχύος.



Εικόνα 17. Διανυσματικό διάγραμμα διόρθωσης συντελεστή ισχύος. Q_C συμβολίζει την άεργη ισχύ που δίνει ο πυκνωτής. Q_L η άεργη ισχύς που χρειάζεται το φορτίο λόγω των πηνίων του. $Q_2 = Q_L - Q_C$ είναι η άεργη ισχύς που τροφοδοτεί το δίκτυο της ΔΕΗ μετά την αντιστάθμιση.

Παράδειγμα διόρθωσης συντελεστή ισχύος δύο τριφασικών κινητήρων

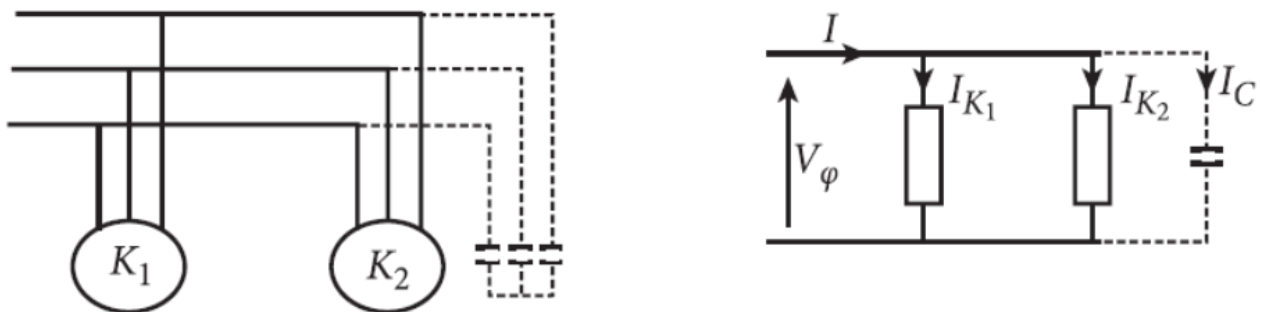
Έχουμε τον κινητήρα K1 και τον K2, όπως δείχνεται στην Εικόνα 18. Ηλεκτροδοτούνται στην ίδια τριφασική εγκατάσταση, AC, 50Hz, με ενεργή τιμή πολικής τάσης (από γραμμή σε γραμμή) 380V. Όπως δείχνει η

Εικόνα 19, η φασική τάση (από τον ουδέτερο μέχρι την κάθε γραμμή) είναι $\frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{ V}$, και τα πηνία του

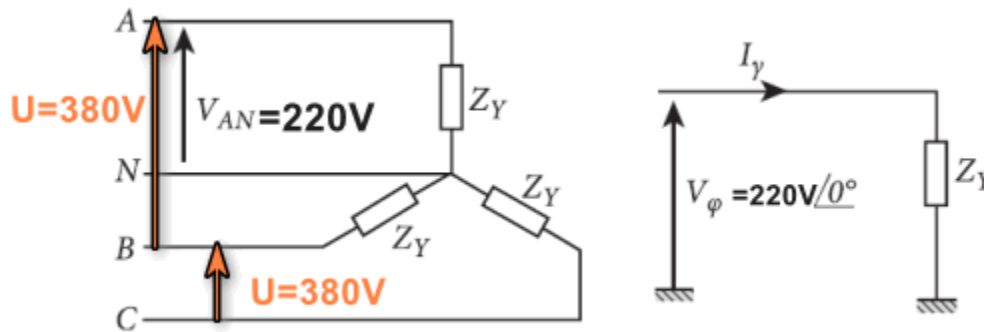
κάθε κινητήρα είναι σε διάταξη αστέρα. Ο κινητήρας K1 έχει συντελεστή ισχύος 0,75, απορροφά και για τα τρία πηνία του συνολική ενεργή ισχύ $P_1 = 34,59\text{ kW}$, και συνολική άεργη ισχύ $Q_1 = 30,55\text{ kVar}$

Ο κινητήρας K2 έχει συντελεστή ισχύος 0,70, απορροφά και για τα τρία πηνία του συνολική ενεργή ισχύ $P_1 = 26,90\text{ kW}$, και συνολική άεργη ισχύ $Q_1 = 27,47\text{ kVar}$.

Ζητείται να γίνει αντιστάθμιση (ή αλλιώς διόρθωση συντελεστή ισχύος), ώστε **και οι δύο μαζί κινητήρες να προμηθεύονται από το δίκτυο 29,81kVar** Η ποσότητα αυτή υπολογίστηκε για να **παρουσιάζουν ως προς το δίκτυο συντελεστή ισχύος 0,9, επαγωγικό**.



Εικόνα 18. Αριστερά: Τριφασική ηλεκτροδότηση δύο κινητήρων. Δεξιά: Το κύκλωμα της μιας φάσης που ηλεκτροδοτεί το ένα από τα τρία πηνία των κινητήρων K1 και K2. Η τάση V_ϕ είναι μεταξύ του αγωγού της γραμμής (ή αλλιώς φάσης) και του ουδέτερου αγωγού. Ο πυκνωτής συνδέθηκε παράλληλα για να προσφέρει ένα μέρος της απαιτούμενης από τα πηνία άεργης ισχύος.



Εικόνα 19. Το τριφασικό φορτίο το κινητήρα αποτελείται από τρία πηνία σε διάταξη αστέρα. Η τάση μεταξύ δύο γραμμών είναι 380V, η τάση μεταξύ ουδέτερου γραμμής είναι 220V. Ο ουδέτερος είναι ενωμένος με την γείωση. Δεξιά φαίνεται η ηλεκτροδότηση του ενός από τα τρία πηνία από τον αγωγό ουδέτερου/γείωσης και της μιας από τις τρεις γραμμές.

Απάντηση: Στην Εικόνα 18, αριστερά δείχνεται η τριφασική ηλεκτροδότηση των κινητήρων. Δέχονται συγχρόνως ισχύ από τρεις γραμμές (φάσεις) και από σύστημα τριών πυκνωτών. Στην Εικόνα 18, δεξιά δείχνεται το ηλεκτρικό κύκλωμα της ηλεκτροδότησης, του ενός από τα τρία πηνία του κάθε κινητήρα και ο ένας πυκνωτής που συνεισφέρει άεργη ισχύ.

Στην Εικόνα 18 δείχνεται το ένα από τα τρία πηνία του κινητήρα.

Υπολογίζουμε την **συνολική ενεργή ισχύ που αποθηκεύουν και οι δύο κινητήρες, και για τα τρία πηνία του ο καθένας:**

$$P_{\text{ολικό}} = P_1 + P_2 = 34,59 \text{ kW} + 26,90 \text{ kW} = 61,49 \text{ kW} \text{ ενεργή ισχύς}$$

$$Q_{\text{ολικό}} = Q_1 + Q_2 = 30,55 \text{ kVar} + 27,47 \text{ kVar} = 58,02 \text{ kVar} \text{ επαγωγική ισχύς}$$

Πριν την αντιστάθμιση, συντελεστής ισχύος των δύο κινητήρων μαζί, υπολογίζεται ως εξής:

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{ολικό}}}{P_{\text{ολικό}}} = \frac{58,02}{61,49} = 0,94356 \Rightarrow \varphi = 43,33^\circ$$

$$\Rightarrow \cos \varphi = \cos 43,33^\circ = 0,727 \text{ επαγωγικός}$$

Μετά την αντιστάθμιση, ο νέος συντελεστής ισχύος των δύο κινητήρων μαζί, υπολογίζεται ως εξής:

$$\tan \varphi_{\text{new}} = \frac{Q_{\text{new}}}{P_{\text{old}}} = \frac{29,81}{61,49} = 0,4847 \Rightarrow \varphi = 25,86^\circ$$

$$\Rightarrow \cos \varphi = \cos 25,86^\circ = 0,8999 \approx 0,9 \text{ επαγωγικός}$$

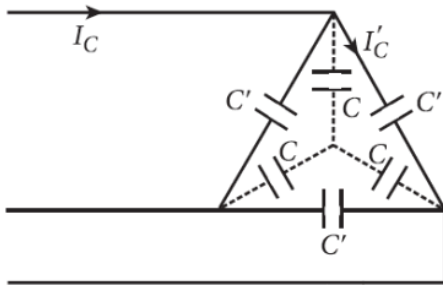
Η τεχνική είναι να μειωθεί η ανάγκη παραγωγής ισχύος από την ΔΕΗ και να προσφέρεται από πυκνωτές που τοποθετεί ο καταναλωτής με δικά του έξοδα.

$$Q_C = Q_{\text{old-ΔΕΗ}} - Q_{\text{new-ΔΕΗ}} = 58,2 - 29,81 = 28,39 \text{ kVar} \text{ χωρητική ισχύς}$$

Άρα η συνολική άεργη ισχύς που θα πρέπει να προμηθεύει το σύστημα των πυκνωτών, θα είναι 28,39 kVar .

Αν οι τρεις πυκνωτές συνδεθούν σε διάταξη αστέρα, ο κάθε ένας από τους τρεις πυκνωτές θα ηλεκτροδοτείται από τον ουδέτερο αγωγό και μια γραμμή, όπως δείχνει η Εικόνα 18, και ο κάθε ένας θα δίνει το 1/3 της άεργης χωρητικής ισχύος

$$Q_{1 \text{ πυκνωτή}} = \frac{Q_c}{3} = \frac{28,39 \text{ kVar}}{3} = 9,46 \text{ kVar} \text{ χωρητική ισχύς}$$



Εικόνα 20. Οι πυκνωτές αντιστάθμισης με διακεκομμένες γραμμές να είναι σε διάταξη αστέρα, η τάση στα άκρα τους είναι 220V, με την συμπαγή γραμμή είναι σε διάταξη τριγώνου, τότε έχουν τάση 380V.

Επειδή η τάση ηλεκτροδότησης στον κάθε πυκνωτή της **διάταξης αστέρα** είναι $\frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$, η

χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί από σχέση

$$C = \frac{Q_{1 \text{ πυκνωτή}}}{220^2 2\pi f} = \frac{9,46 \times 10^3}{220^2 2\pi 50} = 622 \mu\text{F}$$

Αν οι τρεις πυκνωτές συνδεθούν σε **διάταξη τριγώνου**, όπως στην Εικόνα 20, ο κάθε ένας από τους τρεις πυκνωτές ηλεκτροδοτείται στα 380V, και η χωρητικότητά που χρειάζεται είναι μικρότερη

$$C = \frac{Q_{1 \text{ πυκνωτή}}}{380^2 2\pi f} = \frac{9,46 \times 10^3}{380^2 2\pi 50} = 207 \mu\text{F}$$

Άρα, συμφέρει αγορά πυκνωτών χαμηλότερης χωρητικότητας, σε συνδεσμολογία τριγώνου.

Αν η τάση που στέλνει η ΔΕΗ είναι σταθερή, η συνδεσμολογία των πυκνωτών, εκτός ότι μειώνει την άεργη ισχύ που στέλνει η ΔΕΗ στους κινητήρες, επιπλέον αυξάνει και την τάση στα άκρα της γραμμής, ακριβώς στο σημείο που βρίσκονται πχ. Οι κινητήρες.

Απόδοση συσκευής (πχ. Κινητήρα, γεννήτριας, μετασχηματιστή, κλπ.)

Η απόδοση ενός συστήματος αφορά την ωφέλιμη ισχύ που αποδίδει (εννοούμε την ισχύ που μπορεί να παράγει έργο) προς την ενεργή ισχύ που του δίνουμε. Για παράδειγμα, ο κινητήρας παράγει κινητική ενέργεια, η γεννήτρια παράγει ως ωφέλιμη ισχύ την ενεργή ισχύ (η άεργη επιστρέφεται). Όμοια η ισχύς τροφοδοσίας είναι αυτή που ξοδεύεται, δηλαδή στον κινητήρα η ενεργή ισχύς, στην γεννήτρια η κινητική ενέργεια.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{losses}}{P_{in}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού ενεργής ισχύος κινητήρα, όταν γνωρίζουμε τον συντελεστή απόδοσης, τον συντελεστή ισχύος και την ονομαστική ισχύ κινητήρα.

Δίνεται κινητήρας ωφέλιμης αποδιδόμενης ισχύς στον άξονα 40ps, (Pferdestärke, που στα γερμανικά σημαίνει ιπποδύναμη, $1\text{ps}^{10}=736\text{W}$) βαθμού απόδοσης 0,85, και $\cos\phi=0,7$ (επαγωγικός). Πόση ενεργή και άεργη ισχύ, φαινόμενη ισχύ απορροφά από την ΔΕΗ; Αν λειτουργεί περίπου 2 ώρες/μέρα, σε πενθήμερο, και σύνολο για 40 ώρες τον μήνα, πόσο κοστίζει τον μήνα;

Δίνεται 0,8€/kWh κοστίζει

Απάντηση:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{40 \times 736\text{W}}{0,85} = 34635\text{W} = 34,6\text{kW}$$

$$\cos\phi = 0,7 \Rightarrow \phi = 45,57^\circ \Rightarrow \tan 45,57^\circ = 1,02 = \frac{Q_{in}}{P_{in}} = \frac{Q_{in}}{34,6} \Rightarrow Q_{in} = 35,29\text{kVar}$$

$$S_{in} = \sqrt{P_{in}^2 + Q_{in}^2} \quad \text{ή} \quad S_{in} = \frac{P_{in}}{\cos\phi} = \frac{34,6}{0,7} = 49,42\text{kVA}$$

$$\hat{S}_{in} = 49,42 \angle 45,47^\circ \text{ kVA}$$

Για 40 ώρες λειτουργίας κοστίζει: $34,6\text{kW} \times 40 \times 0,8 = 1100\text{€}$

¹⁰ 1HP Horspower (που μεταφράζεται ιπποδύναμη) και ισούται με 745,7 Watts (1 HP = 0,7457 kW)

Ερωτήσεις

Για την μετατροπή μιγαδικών αριθμών από καρτεσιανή σε πολική μορφή, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε on line calculator, όπως τον <https://www.intmath.com/complex-numbers/convert-polar-rectangular-interactive.php>

1. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της χαμηλής τάσης της ΔΕΗ; Περιγράψτε τις τιμές με χρονική εξίσωση και με περιστρεφόμενο διάνυσμα.
2. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της μονοφασικής ηλεκτροδότηση των κατοικιών;
3. Γράψτε τα σύμβολα, μονάδες μέτρησης, και 3 παραδείγματα τιμών για το κάθε ένα από τα μεγέθη: 1) ενεργή τάση, 2) ενεργό ρεύμα, 3) ενεργή ισχύς, 4) πραγματική αντίσταση
4. Γράψτε τα σύμβολα και μονάδες μέτρησης, και 3 παραδείγματα τιμών για το κάθε ένα από τα μεγέθη: 1) άεργη ισχύς, 4) άεργη αντίσταση
5. Γράψτε τις μονάδες που γνωρίζετε για τα μεγέθη: 1) ενέργεια (γενικά), 2) ηλεκτρική ενέργεια, 3) έργο δύναμης, 4) ενεργή ισχύς, 5) ηλεκτρική τάση, 6) πίεση, 7) δύναμη.
6. Γράψτε τις μονάδες που γνωρίζετε για τα μεγέθη: 1) ηλεκτρικό φορτίο, 2) ηλεκτρικό ρεύμα, 3) ροή ηλεκτρικού φορτίου.
7. Γράψτε τις μονάδες που γνωρίζετε για τα μεγέθη: 1) πηνίο, 2) συντελεστής αγωγιμότητας πηνίου, 3) επαγωγική αντίσταση πηνίου, 3) πυκνωτής, 4) χωρητικότητα πυκνωτή, 5) χωρητική αντίσταση πυκνωτή.
8. Υπολογίστε την επαγωγική αντίσταση ιδανικού πηνίου 1mH, το ρεύμα που το διαρρέει, η ισχύς που αποθηκεύει, για τις παρακάτω περιπτώσεις: 1) 230V, AC 50Hz, 2) σε AC 60Hz, 3) σε DC. Υπολογίστε την ισχύ που δίνει η πηγή στο ηλεκτρικό στοιχείο, και τον συντελεστή ισχύος του στοιχείου και την απόδοση του στοιχείου.
9. Υπολογίστε την χωρητική αντίσταση ιδανικού πυκνωτή 20pF, το ρεύμα που τον διαρρέει, η ισχύς που αποδίδει για τις παρακάτω περιπτώσεις: 1) 230V, σε AC 50Hz, 2) 230V, σε AC 60Hz, 3) 230V, σε DC. Υπολογίστε την ισχύ που δίνει η πηγή στο ηλεκτρικό στοιχείο, τον συντελεστή ισχύος του στοιχείου και την απόδοση του στοιχείου.
10. Υπολογίστε την αντίσταση ιδανικού αντιστάτη 100Ω, το ρεύμα που τον διαρρέει, η ισχύς που μετατρέπει σε θερμότητα, για τις παρακάτω περιπτώσεις: 1) 230V, σε AC 50Hz, 2) 230V, σε AC 60Hz, 3) 230V, σε DC. Υπολογίστε την ισχύ που δίνει η πηγή στο ηλεκτρικό στοιχείο, και τον συντελεστή ισχύος του στοιχείου και την απόδοση του στοιχείου.
11. Για τα παραδείγματα των παρακάτω σύνθετων αντιστάσεων, υπολογίστε 1) την πολική μαθηματική περιγραφή τους (με φάσορες) 2) τα μέτρα τους, 3) τον συντελεστή ισχύος τους, 4) χαρακτηρίστε τον συντελεστή ισχύος τους.
12. Πχ. (a) $3+j10$, (b) $3-j10$, c) 3, d) $j10$. Οι τιμές αφορούν σε Ω.
13. Από τις παρακάτω τιμές να χαρακτηρίσετε τον συντελεστή ισχύος του κυκλώματος. 1) Το ρεύμα που ρέει από την πηγή στο κύκλωμα είναι
(α) $2\angle -60^\circ \text{ A}$, (β) $(2 - j1) \text{ A}$, (γ) $2\angle +60^\circ \text{ A}$, 1(β) $(2 + j1) \text{ A}$, 1(γ) 2 A
14. Για τα παραδείγματα των παρακάτω φορτίων, δίνεται το μέτρο της ονομαστικής ισχύος τους και ο συντελεστής ισχύος (PF) τους. Υπολογίστε: 1) την πολική μαθηματική περιγραφή τους (με φάσορες) 2) την καρτεσιανή μαθηματική περιγραφή τους, 3) χαρακτηρίστε αν και πόση ισχύ μπορούν να αποθηκεύσουν, ή να καταναλώσουν, ή να αποδώσουν, 4) πόσα VAR χρειάζεται να τους παρέχετε με πυκνωτή που θα συνδεθεί παράλληλα σε αυτά για να αποκτήσει το σύστημα $\text{PF}=0,9$;
Πχ. (a) 100VA, $\text{PF}=0,6$ επαγωγικός, (b) 100VA, $\text{PF}=0,8$ χωρητικός, (c) 100VA, $\text{PF}=0,8$ επαγωγικός.
15. Υπολογίστε την χωρητικότητα πυκνωτή που έχει τάση 230V, 50Hz και αποδίδει 10VAR

16. Μπορείτε να συμπληρώσετε το ερωτηματικό, χωρίς να κάνετε υπολογισμούς: Δύο ηλεκτρικά φορτία έχουν ίδιο συντελεστή ισχύος. Το ένα έχει τιμή $(3+j10)\Omega$, το άλλο έχει τιμή $(?+j5)\Omega$.
17. Υπολογίστε το κόστος σε ηλεκτρική κατανάλωση ενός καλοριφέρ $2,5\text{kW}$, που ηλεκτροδοτείται στα 230V και λειτουργεί για 5 ώρες την ημέρα για 30 ημέρες. Θεωρήστε ότι δεν έχει θερμοστάτη για την αυτόματη ρύθμιση θερμοκρασίας χώρου και ότι 1kWh χρεώνεται $0,08\text{€}$ συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ.