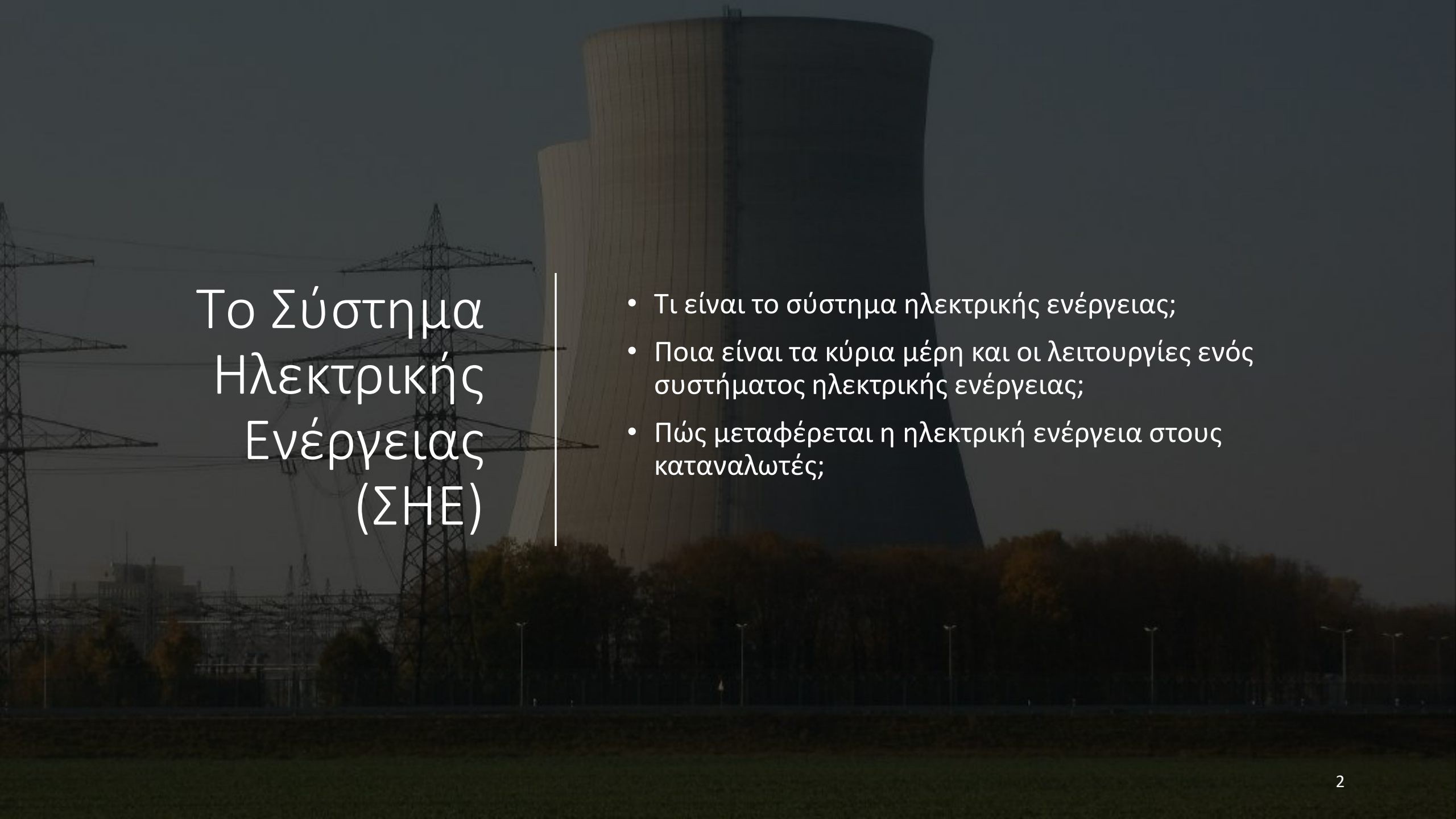


Εισαγωγή στα
Συστήματα Ηλεκτρικής
Ενέργειας και στις
Εφαρμογές
Ηλεκτρονικών Ισχύος

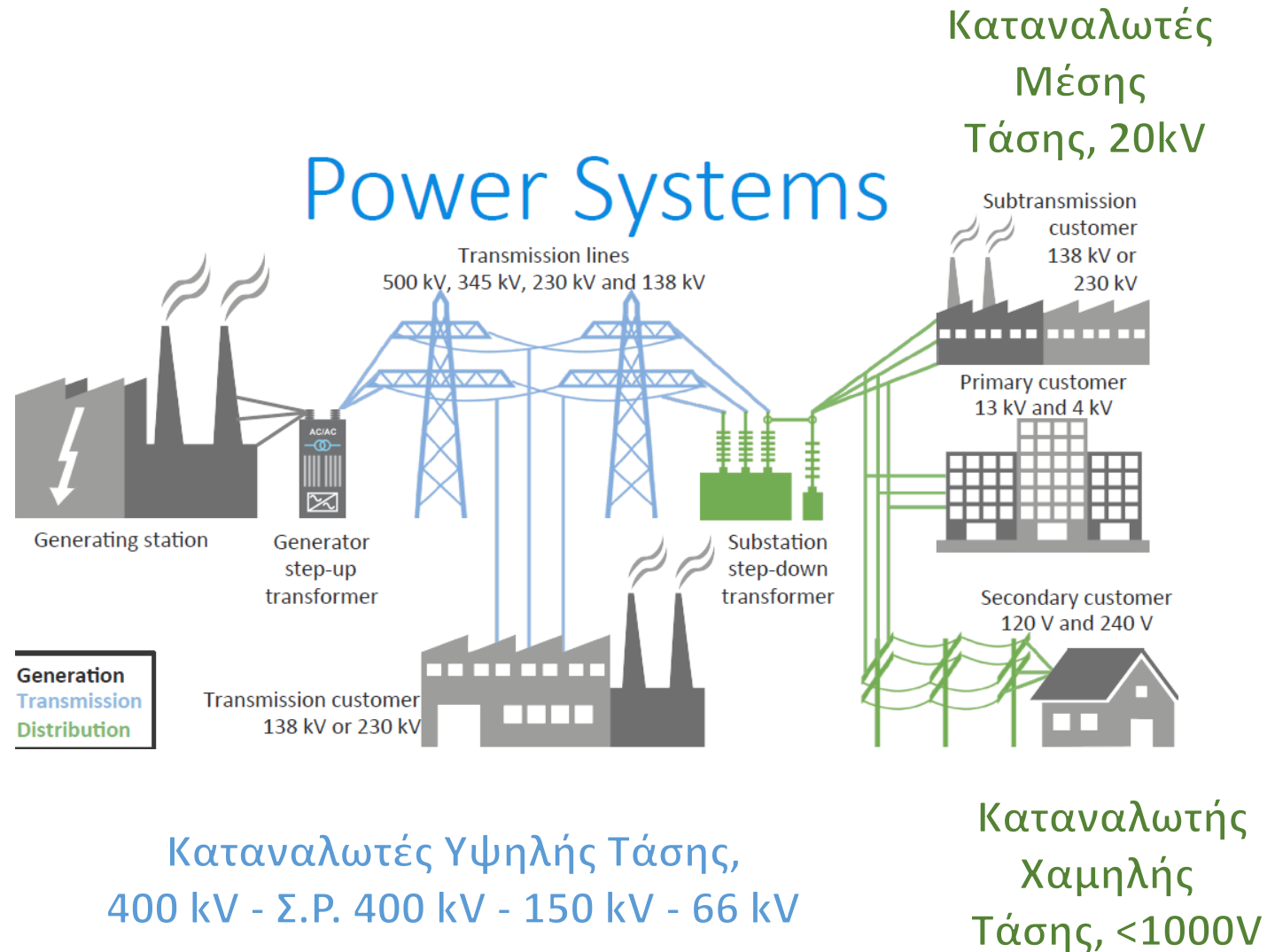


Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)

- Τι είναι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας;
- Ποια είναι τα κύρια μέρη και οι λειτουργίες ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας;
- Πώς μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές;

Το «καθιερωμένο» ΣΗΕ

- Παραγωγή,
 - Μεταφορά,
 - Διανομή
 - Κατανάλωση
- Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται κεντρικά.
 - Αυτό σημαίνει ότι συμμετέχουν μόνο λίγοι μεγάλοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής.



ΣΗΕ

Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων Ενέργειας και υδάτων

- Η ΡΑΑΕΥ, είναι η ανεξάρτητη αρχή που φροντίζει, εισηγείται και προωθεί την ύπαρξη συνθηκών ίσων ευκαιριών και υγιούς ανταγωνισμού και παρέχει άδειες λειτουργίας σε παραγωγούς, προμηθευτές και λοιπούς φορείς της αγοράς. Με την σύστασή της επιβλήθηκε ο διαχωρισμός των δραστηριοτήτων παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, με συνέπεια να εμφανίζονται πλέον περισσότερα πρόσωπα, τα οποία ασκούν διαφορετικές δραστηριότητες.

Παραγωγή

- Περιλαμβάνει τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που ηλεκτροδοτούν το σύστημα.
- Ορισμένα παραδείγματα παραδοσιακών μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι οι θερμικοί, υδροηλεκτρικοί και πυρηνικοί σταθμοί.
- ΔΕΗ, Εlpedison, Ήρων, κ.τ.λ.

Μεταφορά

- Αποτελείται από γραμμές μεταφοράς που μεταφέρουν την ισχύ από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στο σύστημα διανομής.
- Τα τυπικά επίπεδα τάσης για το σύστημα μεταφοράς κυμαίνονται από 66 kV έως 1100kV.
- Στην Ελλάδα: Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΔΜΗΕ

Διανομή

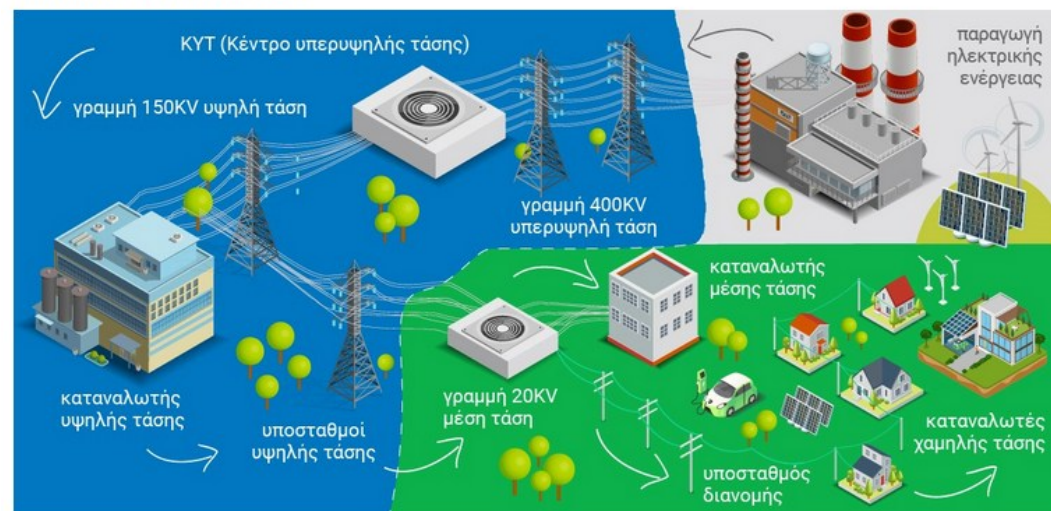
- Είναι το δίκτυο που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ το τελικό φορτίο.
- Τα τυπικά επίπεδα τάσης για το σύστημα διανομής κυμαίνονται από 230 V έως και 20 kV.
- Τα επίπεδα τάσης του συστήματος μεταφοράς είναι υψηλότερα από αυτά του συστήματος διανομής.
- Στην Ελλάδα: Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΔΕΔΔΗΕ

Κατανάλωση

- Το φορτίο αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ισχύος του συστήματος. Περιλαμβάνει νοικοκυριά, νοσοκομεία, εμπορικά κτίρια και βιομηχανίες μικρού και μεσαίου μεγέθους, κτλ.

Το Ελληνικό Δίκτυο Ηλεκτρισμού

Το Δίκτυο Ηλεκτρισμού



■ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ
■ ΑΔΜΗΕ
■ ΔΕΔΔΗΕ

Βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού

Βασικά μεγέθη 2020 του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής (τέλος του έτους):

- 113.358 χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- 128.211 χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

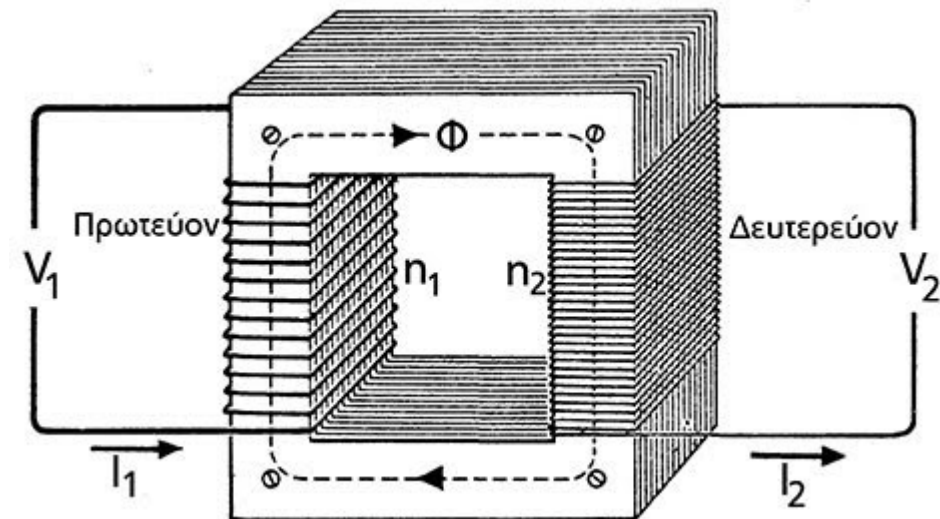
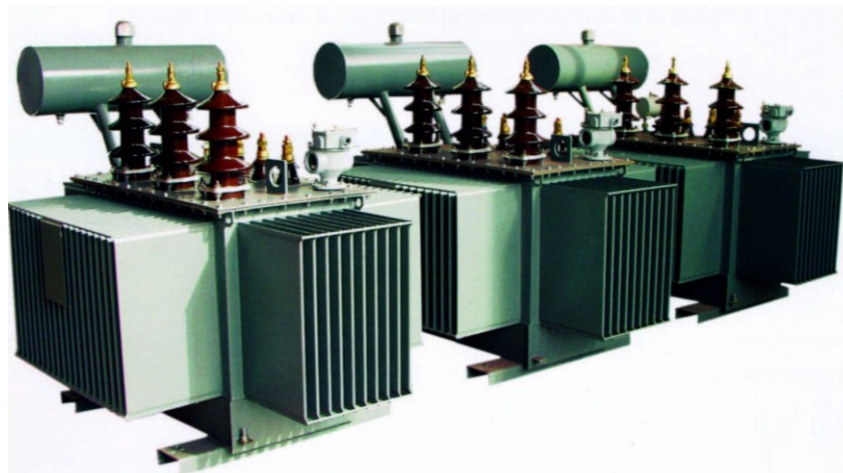
Συνολικά 241.569 χλμ. Δικτύου.

- 165.290 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- 993 χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων 218 χλμ στην Αττική και 775 χλμ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- 241 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ)
- 7.593.412 Πελάτες (12.668 ΜΤ & 7.580.744 ΧΤ).
- 41.983 GWH Καταναλώσεις Πελατών (10.950 στη ΜΤ & 31.033 στη ΧΤ).

[Σύνδεσμος για το Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας](#)

Πώς αλλάζει η στάθμη της τάσης από το ένα σύστημα στο άλλο;

- Στα συστήματα ισχύος, αυτό γίνεται κυρίως μέσω μετασχηματιστών.
- Ένας **μετασχηματιστής** χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική επαγωγή για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δύο ή περισσότερων κυκλωμάτων.
- Ένας τυπικός μετασχηματιστής αποτελείται από δύο περιελίξεις. Σύμφωνα με την αναλογία μεταξύ πρωτεύουσας και δευτερεύουσας περιέλιξης, η τάση θα αυξηθεί ή θα μειωθεί.
- Οι μετασχηματιστές τοποθετούνται γενικά σε υποσταθμούς. Ένας υποσταθμός περιέχει πολλά στοιχεία που είναι σημαντικά για τη διατήρηση των αποδεκτών ορίων Τάσης - Έντασης.
- Ορισμένα από αυτά τα στοιχεία μεταξύ άλλων είναι: μετασχηματιστές, πυκνωτές, διακόπτες κυκλώματος, εξοπλισμός παρακολούθησης, κ.α.



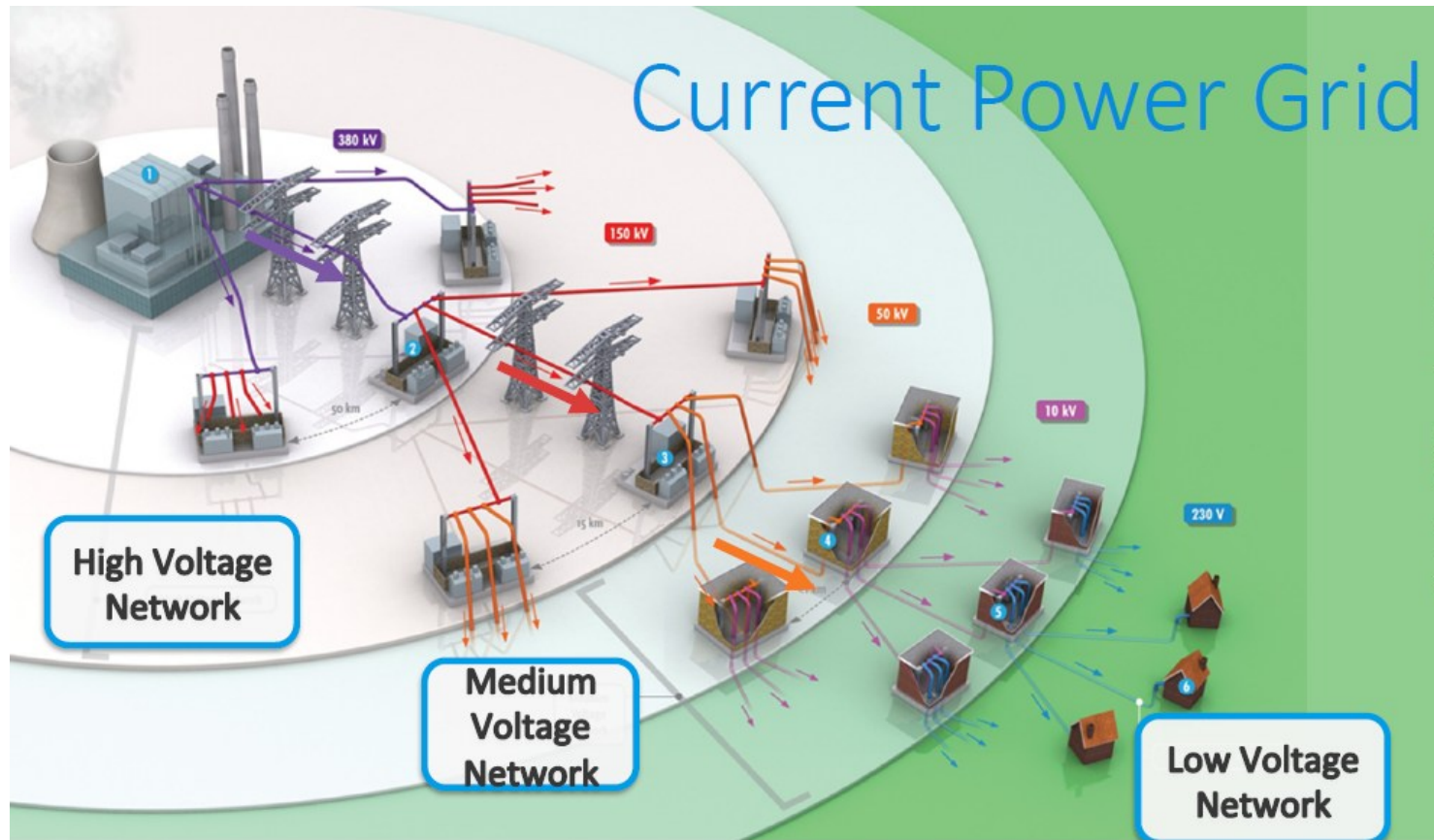


Μ/Σ σε διάφορα μεγέθη και Μεταλλικό Πινάκιο Κατασκευαστή

ABB TRANSFORMER CE

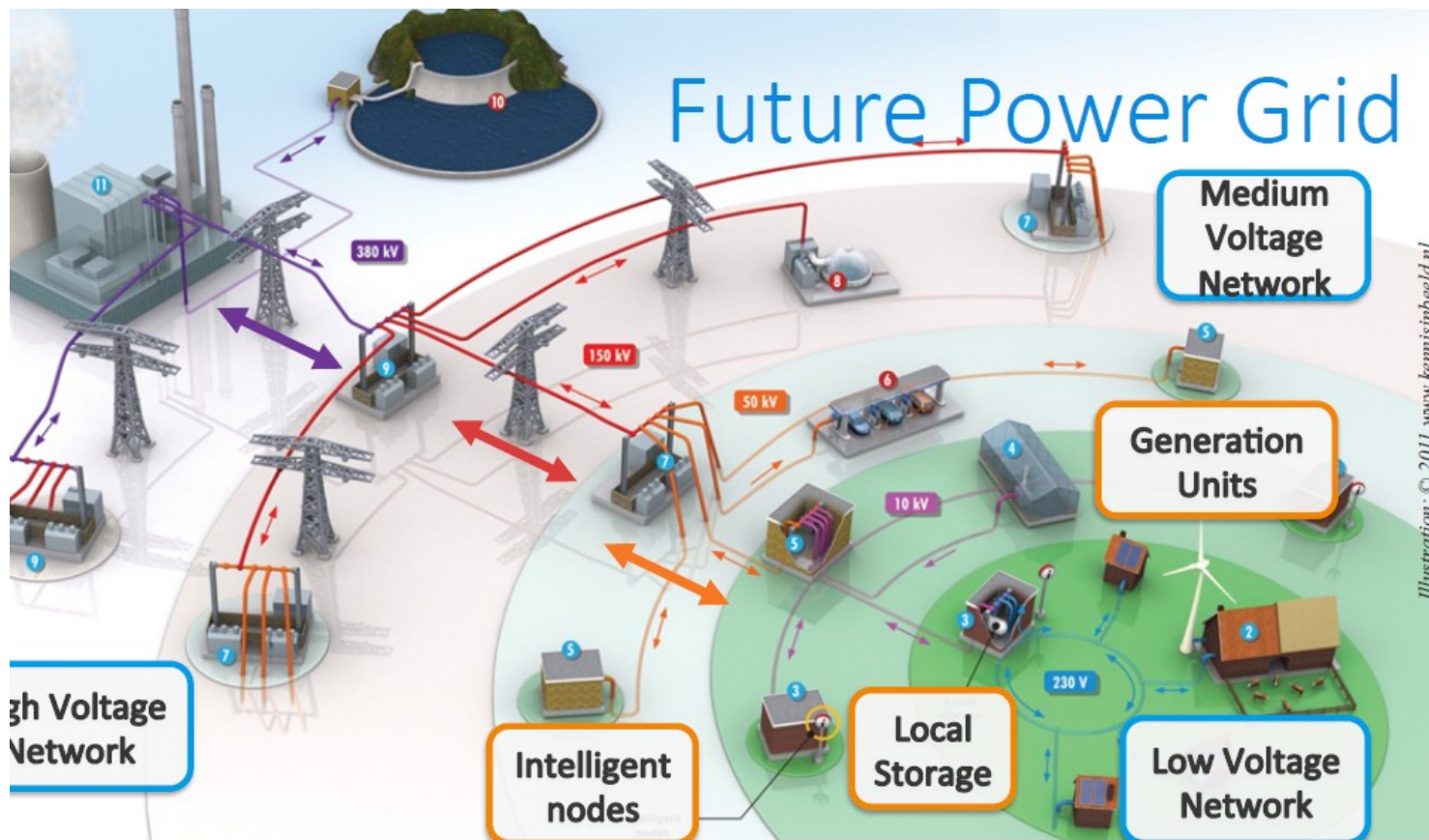
TYPE	TSPH-21184		SERIAL NR.		
RATED POWER (KVA)	1000		COOLING TYPE	ONAN NR OF PHASES 3	
VOLTAGE (V)	1	19000	FREQUENCY (Hz)	50	
	2	19500	VECTOR GROUP	Dyn5	
	3	20000	800	HV (kV)	125/50
	4	20500		LV (kV)	~3
	5	21000		TEMP. RISE U/W (K)	60/65
RATED CURRENT (A)	28.87	721.59	IMPEDANCE I/O.T. (%)		
WINDING MATERIAL (HV/LV)	AL / AL		LOAD LOSSES (ONAN)		
MASS OF WINDINGS (kg)	581		NO LOAD LOSSES		
CORE MATERIAL	CRGO STEEL		INSULATING OIL		
MASS OF CORE (kg)	1155		YEAR OF MANUF.		
ACTIVE PART (kg)	1792		SPECIFICATION	IEC 60076	
OIL WEIGHT (kg)	559				
TOTAL WEIGHT (kg)	2069				





Το παλαιό ΣΗΕ

- Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η ενέργεια ρέει μόνο προς μια κατεύθυνση, πράγμα που σημαίνει ότι η ηλεκτροπαραγωγή λαμβάνει χώρα μόνο στην πλευρά παραγωγής του συστήματος ισχύος και η κατανάλωση μόνο στην πλευρά της διανομής.
- Αυτό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των παραδοσιακών συστημάτων ισχύος.
- Οι περισσότερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελεγχόμενες.
- Η μεγάλη τάση αυξάνεται ή μειώνεται μέσω μετασχηματιστών και οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.



Το σύγχρονο ΣΗΕ

- Στο νέο ΣΗΕ υπάρχουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που βρίσκονται αποκεντρωμένες στην πλευρά της διανομής.
- Αυτό είναι γνωστό ως **κατανεμημένη παραγωγή** και παραδείγματα αποτελούν τα ΦΒ, Ανεμογεννήτριες και Μονάδες Βιοαερίου κτλ.
- Η ροή ενέργειας είναι αμφίδρομη και τόσο οι παραγωγοί όσο και οι καταναλωτές θεωρούνται **πόροι** του συστήματος.
- Στις μεγάλες υπάρχουσες καταναλώσεις προθέτονται συνεχώς νέες όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, οι **αντλίες θερμότητας** και άλλοι ευφυής **κόμβοι**, υλοποιώντας πρακτικά την έννοια του έξυπνου δικτύου.

Τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids)

- Ένα «έξυπνο» δίκτυο είναι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει **έξυπνα** τις δραστηριότητες όλων των **χρηστών** που συνδέονται με αυτό, προκειμένου να παρέχει αποτελεσματικά (βιώσιμα, οικονομικά και με ασφάλεια) ηλεκτρική ενέργεια.
- Χρήστες δύναται να είναι παραγωγοί, καταναλωτές και όσοι αναλαμβάνουν και τους δύο ρόλους (Prosumers).
- Έξυπνα, σημαίνει ότι το δίκτυο αξιοποιεί τεχνολογίες παρακολούθησης, ελέγχου, επικοινωνίας και αυτοθεραπείας για την επίτευξη **ισορροπίας** μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης.

Χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου

- Σε αντίθεση με τους ελεγχόμενους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, που βασίζονται κυρίως σε ορυκτά καύσιμα, **ένα υψηλό ποσοστό** της ηλεκτροπαραγωγής θα προέρχεται από ανεξέλεγκτες **ΑΠΕ**, μικρής κλίμακας.
- Ένα σημαντικό ποσοστό μονάδων παραγωγής θα παράγει **συνεχές ρεύμα**, σε αντίθεση με τους μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα.
- Θα υπάρχει **αμφίδρομη ροή ενέργειας**, με τα **συστήματα αποθήκευσης** να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο εξαιτίας των ανεξέλεγκτων πηγών.
- Θα εισάγουν στο ΣΗΕ καινοτόμες εφαρμογές, όπως οι **έξυπνοι μετρητές**, οι οποίοι μεταξύ άλλων θα εξασφαλίζουν την ισορροπία της παραγωγής και της κατανάλωσης.

Μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας

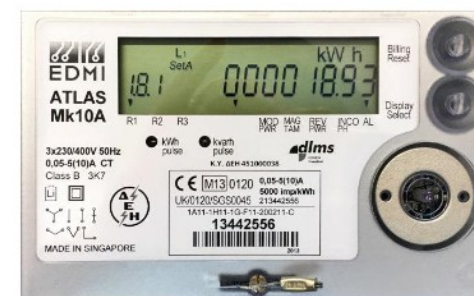
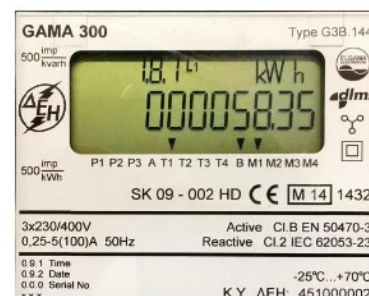
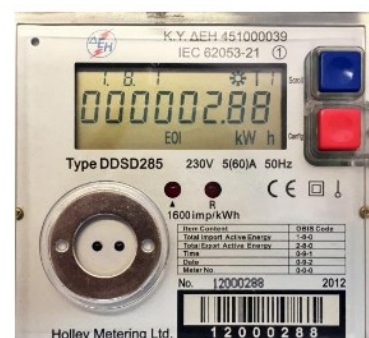
Παραδοσιακοί Μετρητές:

Μία (1) μέτρηση το τετράμηνο, δια ζώσης



Έξυπνοι Μετρητές:

Μια (1) μέτρηση κάθε 15λεπτά, εξ αποστάσεως



[Προδιαγραφές ΔΕΔΔΗΕ για μετρητές Παραγωγής](#)

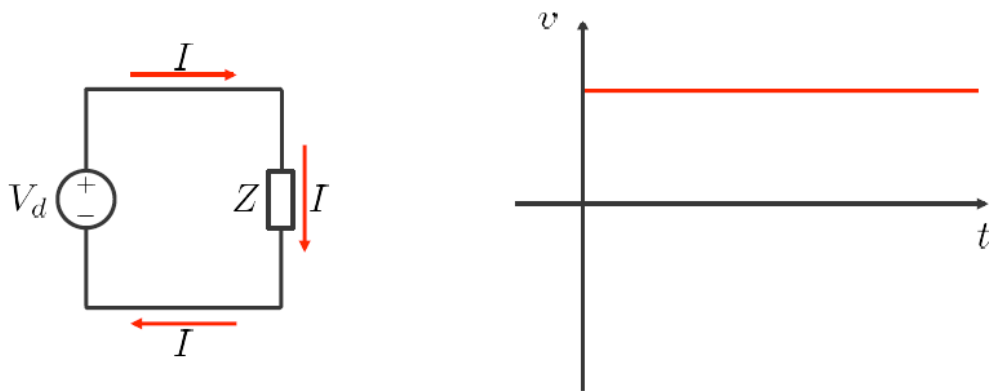
Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management)

- Το παρών ΣΗΕ είναι παραδοσιακά **παθητικό**, αλλά αυτό αλλάζει ταχύτατα.
- Εφαρμόζοντας την **διαχείριση της ζήτησης**, εξελίσσεται σε ενεργό δίκτυο με τη συμμετοχή της **κατανεμημένης παραγωγής** και των **συστημάτων αποθήκευσης**.
- Ο στόχος της διαχείρισης της ζήτησης είναι η **εξοικονόμηση ενέργειας** και η βελτίωση της συνολικής απόδοσης του ΣΗΕ, **μέσω της εφαρμογής τέχνο-οικονομικών μηχανισμών** που ελέγχουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η ανταπόκριση της ζήτησης (**Demand Response**) και η ενεργειακή ευελιξία (**Flexibility**).

AC - DC

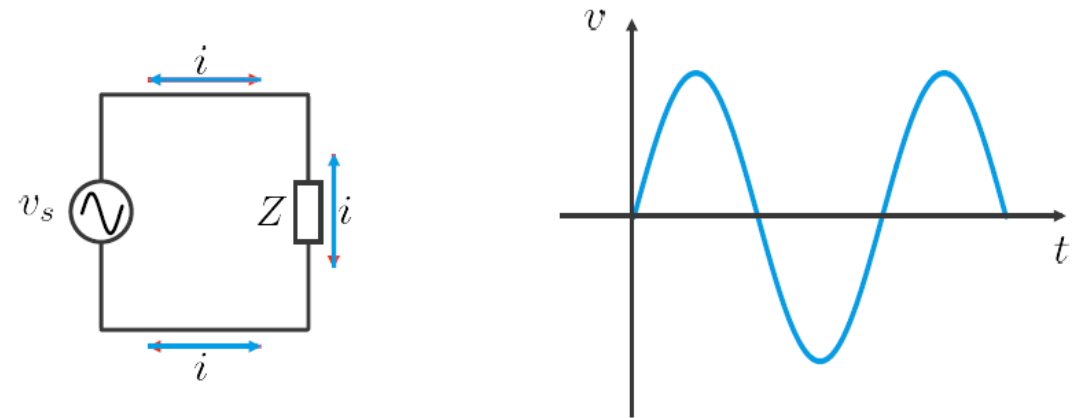
Το **συνεχές ρεύμα**, (Direct Current ή DC), μπορεί να οριστεί ως ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση.

Direct Current



Το **εναλλασσόμενο ρεύμα**, (Alternating Current ή AC), ορίζεται ως ένα περιοδικό ηλεκτρικό ρεύμα που αντιστρέφει την κατεύθυνση. Μπορεί να έχει διαφορετικά σχήματα, ωστόσο στα παραδοσιακά συστήματα ισχύος έχει ημιτονοειδή μορφή. Η ηλεκτρική ενέργεια που φθάνει στο σπίτι μας έχει πλάτος ημιτόνου 230Vac με συχνότητα $f = 1 / T = 50\text{Hz}$.

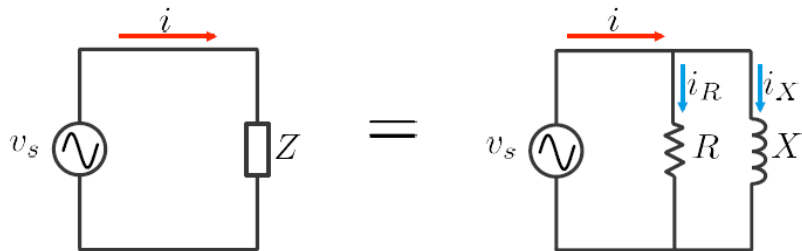
Alternating Current



Apparent Power = (Active Power) + j(Reactive Power)

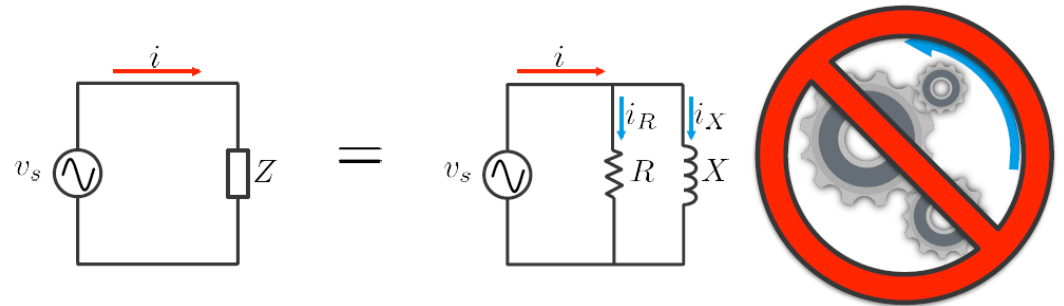
Στο AC, η **ενεργός ισχύς (P)**, είναι η ισχύς που χρησιμοποιούμε. Είναι *το μέρος της συνολικής ισχύος που μεταφέρει ενέργεια*, ανά περίοδο, προς μία κατεύθυνση. Το φορτίο στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτήν την ενέργεια για να λειτουργήσει. Μονάδα μέτρησης το **[W]**

Active Power



Αντίθετα, η **άεργος ισχύς (Q)**, είναι το τμήμα της ισχύος που επιστρέφει στην πηγή, ανά περίοδο, και επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το φορτίο για να λειτουργήσει. Η απόδοση του συστήματος αυξάνεται καθώς μειώνεται η άεργος ισχύς. Μονάδα μέτρησης το **[var]**

Reactive Power

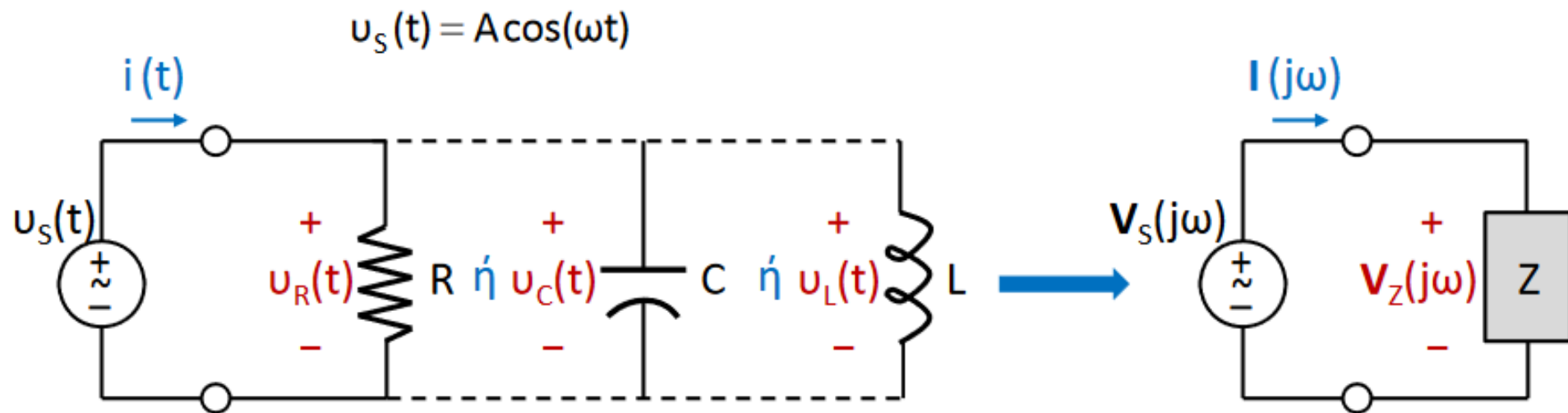


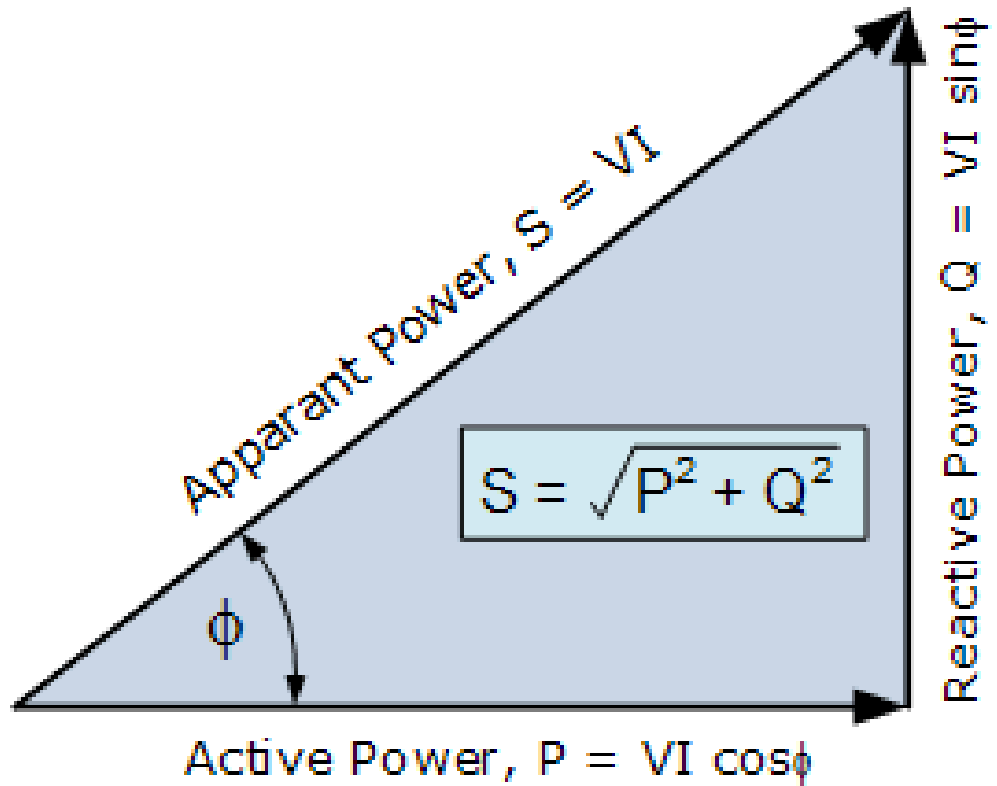
Φαινόμενη ισχύς [VA]

Σύνθετη Αντίσταση – Εμπέδηση

Οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές και τα πηνία στα AC κυκλώματα μπορούν να περιγραφούν ως μια μιγαδική αντίσταση που ονομάζεται *σύνθετη αντίσταση* ή *εμπέδηση* (*impedance*) Z .

Η έννοια της σύνθετης αντίστασης δηλώνει τη συμπεριφορά των πυκνωτών και των πηνίων ως αντιστάσεις των οποίων η τιμή εξαρτάται από τη συχνότητα της ημιτονοειδούς διέγερσης.





Power Factor Explained

Το τρίγωνο της ισχύος

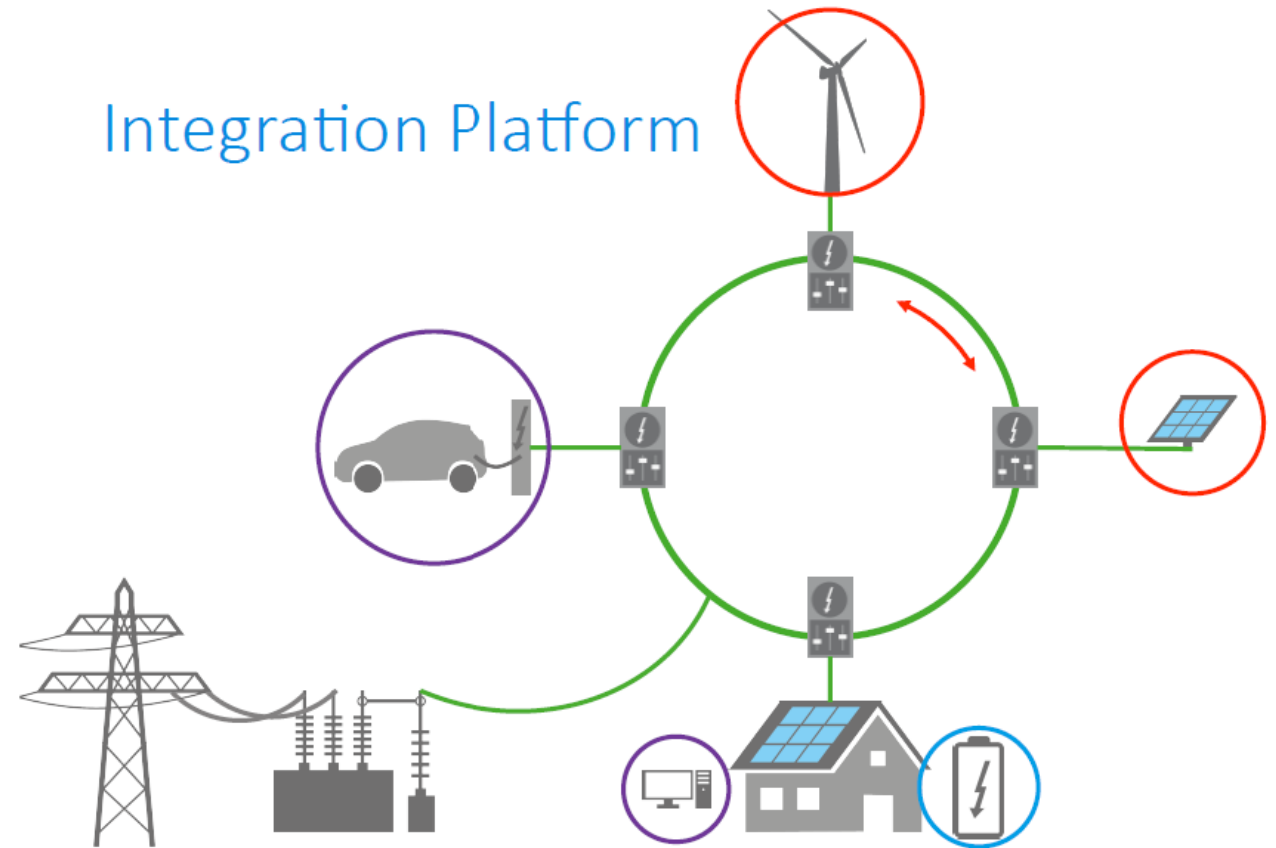
- $|S|$: Φαινόμενη Ισχύς, σε [VA]
- $S = P + jQ$, $|S| = V * I$
- P : Ενεργός Ισχύς, σε [W]
- $P = V * I * \cos(\phi)$
- Q : Άεργος Ισχύς, σε [var]
- $Q = V * I * \sin(\phi)$
- $\cos(\phi)$: Συντελεστής Ισχύος
- $\cos(\phi) = P / |S|$
- ϕ : Η Φάση

Τριφασικά και Μονοφασικά Συστήματα Μεταφοράς Ισχύος

- Γενικώς στόχος στα ΣΗΕ είναι η αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος.
- Η τριφασική, είναι η απλούστερη διάταξη από τις **πολυφασικές διατάξεις**, με σταθερή ροή ισχύος και μεγάλη ικανότητα μεταφοράς.
- Τα τριφασικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση.
- Μεταφέρει **τριπλάσια ισχύ από την μονοφασική γραμμή** μεταφοράς. Άρα χρησιμοποιούνται λεπτότερη αγωγοί για την μεταφορά της ίδιας ποσότητας ισχύος (για την ίδια τάση), δηλαδή χρησιμοποιείται περίπου **25% λιγότερος χαλκός**.
- Το τριφασικό σύστημα είναι πιο αξιόπιστο καθώς όταν χαθεί μια φάση, οι άλλες δυο φάσεις μπορούν ακόμη να μεταφέρουν κάποια ισχύ στα φορτία.
- Στην Ευρώπη η συχνότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι 50Hz, τιμή η οποία καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων και τις στροφές ανά λεπτό των πόλων του στρεφόμενου δρομέα των ηλεκτρογεννητριών στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Microgrids

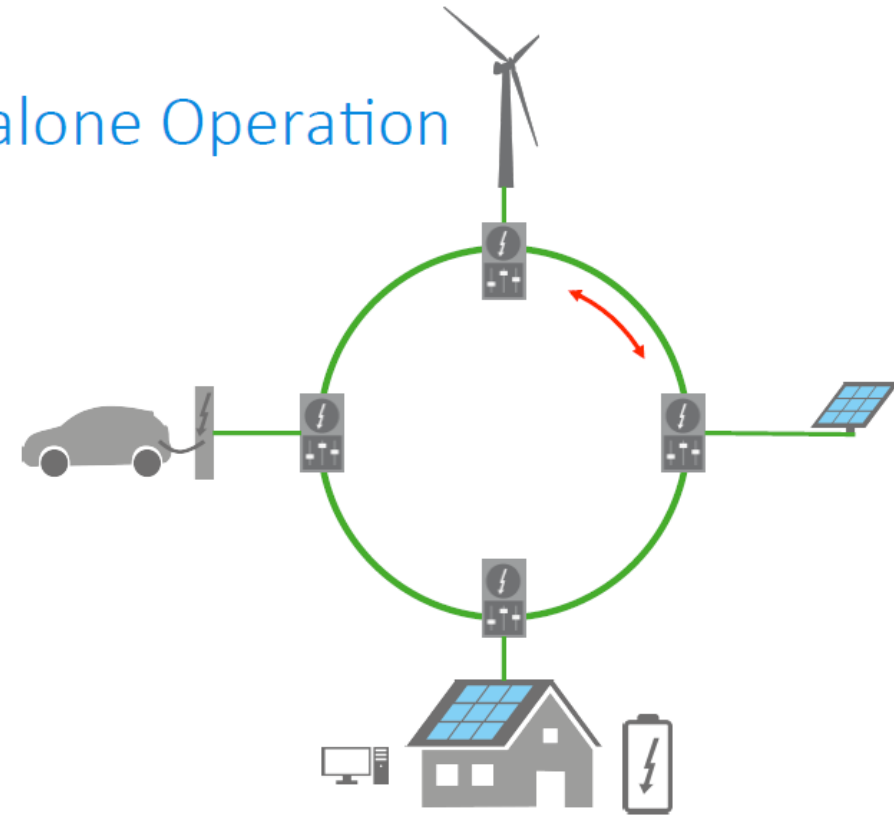
- Τα Μικροδίκτυα είναι συστήματα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος που περιέχουν φορτία και καταναεμημένους ενεργειακούς πόρους.
- Δύναται να λειτουργούν με ελεγχόμενο και συντονισμένο τρόπο, είτε βρίσκονται συνδεόμενα στο κύριο δίκτυο είτε όχι.



Microgrids

- Το μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ολοκληρωμένη και αυτόνομη ενεργειακή πλατφόρμα για ΑΠΕ, συσκευές αποθήκευσης και ελεγχόμενα φορτία, σε επίπεδο διανομής.
- Τα μικροδίκτυα έχουν δύο τρόπους λειτουργίας: συνδεδεμένα στο κυρίως δίκτυο (Grid Connected) και αυτόνομα σαν ενεργειακή νησίδα τρόπος (Off-grid)

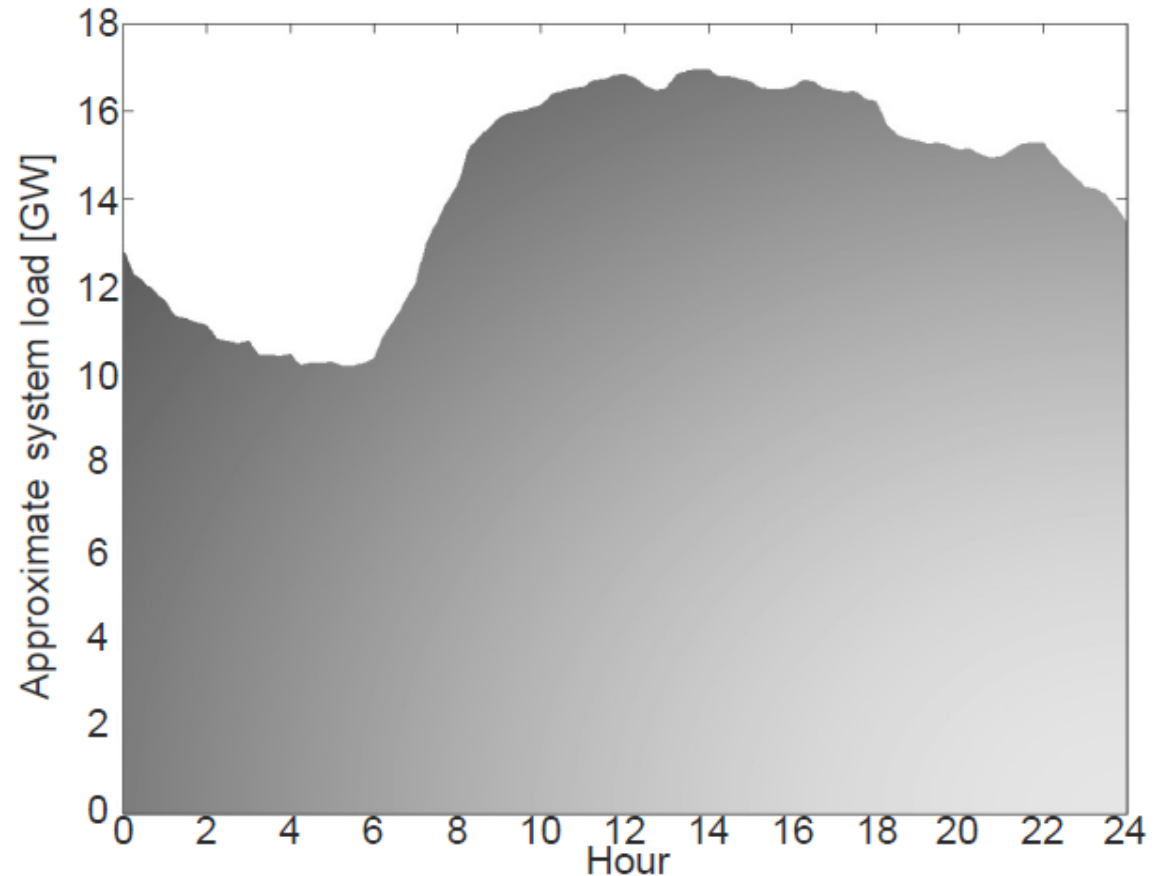
Stand-alone Operation



Ηλεκτρικά Φορτία

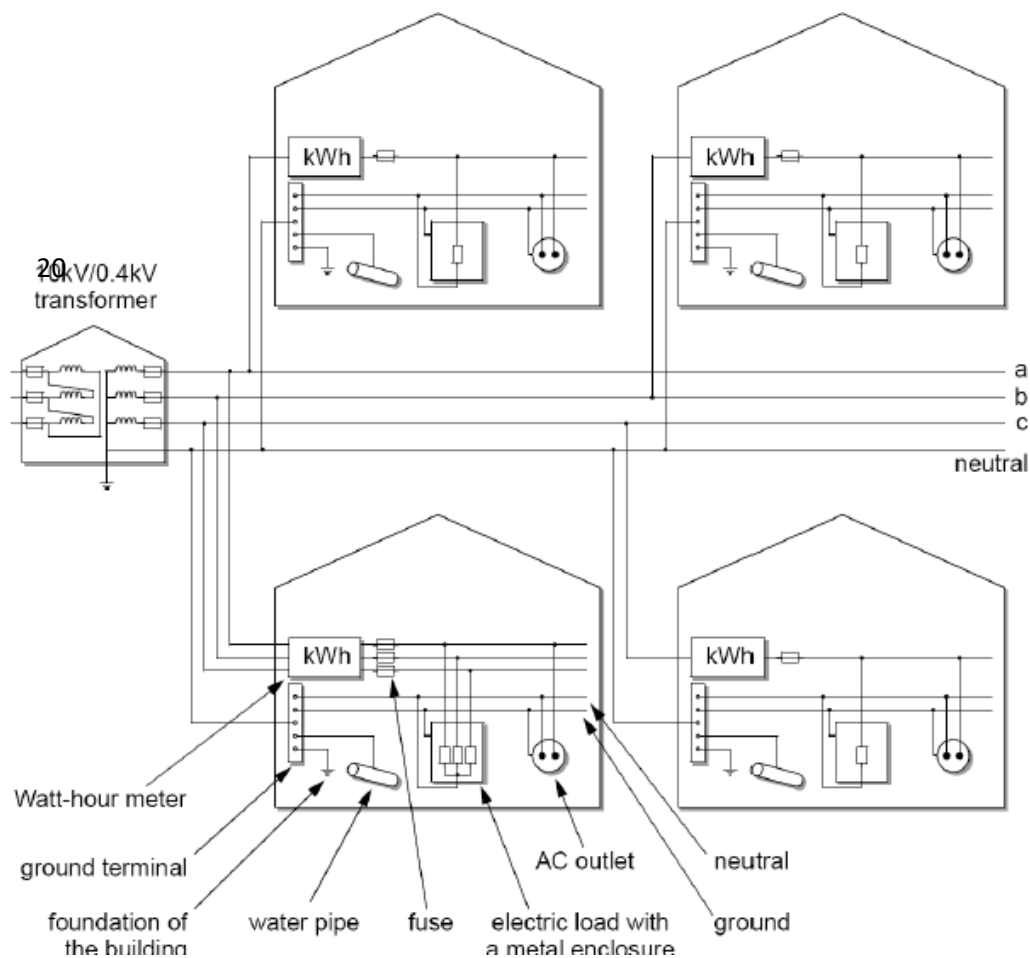
- Είναι σημαντικό να **υπάρχει πάντα ισορροπία** μεταξύ της ηλεκτροπαραγωγής και της κατανάλωσης.
- Ένα ηλεκτρικό φορτίο, είναι ένα εξάρτημα ή μέρος ενός κυκλώματος που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια.
- Μια **καμπύλη ηλεκτρικού φορτίου** αποτελεί ένα **προφίλ κατανάλωσης** το οποίο μας δείχνει τη μεταβολή στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Load Curve Example



Τύποι καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας

- Τα **φορτία φωτισμού** οι **λαμπτήρες φθορισμού** απαιτούν σημαντικές ποσότητες άεργης ισχύος, σε αντίθεση με τους **λαμπτήρες πυρακτώσεως**, οι οποίοι καταναλώνουν μόνο ενεργό ισχύ.
- Οι **λαμπτήρες LED** έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη διάρκεια ζωής αλλά παράγουν παραμόρφωση στην κυματομορφή εναλλασσόμενου ρεύματος.
- **Θερμικά φορτία**, μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια που ρέει μέσα από έναν αντιστάτη (λέβητα, εστία νερού, ηλεκτρική εστία και φούρνοι αλουμινίου και χάλυβα), απευθείας σε θερμότητα
- Όταν το φορτίο είναι πλήρως ωμικό, δεν καταναλώνει άεργη ισχύ.
- Τα **μηχανικά φορτία** μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια μέσω των κινητήρων
- Οι πρώτοι κινητήρες που αναπτύχθηκαν λειτουργούσαν με συνεχές ρεύμα. Σήμερα υπάρχουν κινητήρες που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (ψυγείο, κλιματιστικό, ηλεκτρική σκούπα, πιστολάκι μαλλιών, κ.τ.λ.)..
- Οι κινητήρες είναι επαγωγικά συστήματα και ως εκ τούτου απαιτούν άεργη ισχύ.



Ταξινόμηση Φορτίων

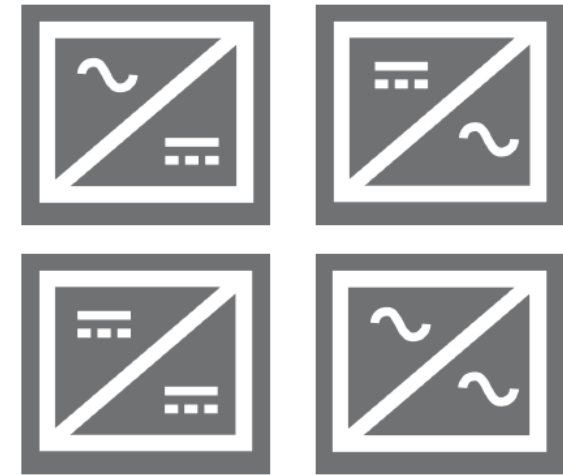
- Τα φορτία μπορούν να ταξινομηθούν σε: **οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά** φορτία.
- Τα οικιακά φορτία συνδέονται στο το δίκτυο διανομής μέσω Μ/Σ.
- Οι μετασχηματιστές διανομής χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την τάση σε χαμηλότερα επίπεδα, π.χ. από 20kV στα 400V.
- Τα οικιακά φορτία είναι, κατά κανόνα, μονοφασικά φορτία, αλλά για να διατηρηθεί όσο το δυνατόν πιο ισορροπημένο το σύστημα διανομής τριών φάσεων, τα σπίτια συνδέονται σε διαφορετικές φάσεις.
- Τα εμπορικά και βιομηχανικά φορτία συνδέονται γενικά απευθείας στο δίκτυο διανομής, η τάση των οποίων κυμαίνεται από 10 έως 72,5 kV, ή από 110 έως 150 kV.

Ηλεκτρονικά Ισχύος

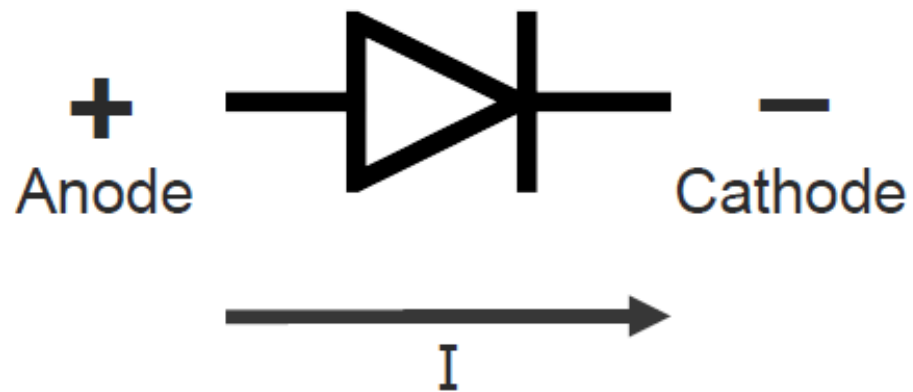
- Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιούνται για να προσαρμόζουν την ισχύ στην έξοδο των ΑΠΕ σύμφωνα με τις ανάγκες του φορτίου.
- Οι μετατροπείς ισχύος μας επιτρέπουν να επεξεργαζόμαστε και να ελέγχουμε τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μέσω μετατροπών ισχύος, μπορούμε και μετατραπούμε το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα και αντίστροφα.

Types of Power Converters

- AC to DC or rectifiers
- DC to AC or inverters
- DC to DC converter
- AC to AC converter



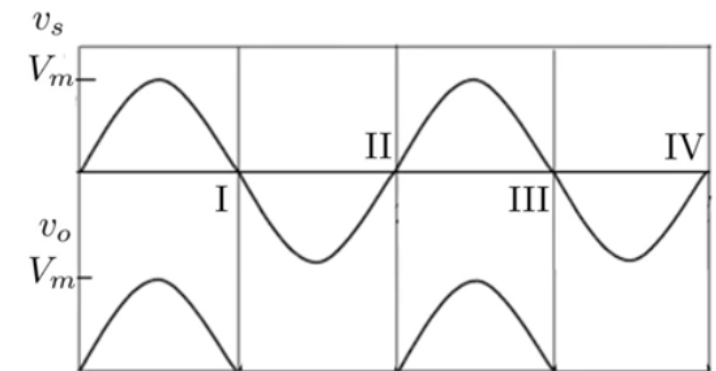
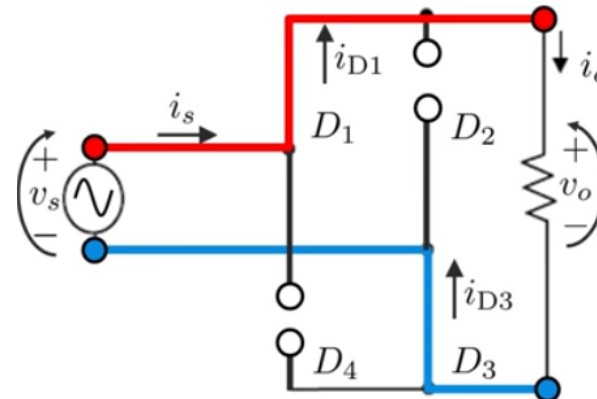
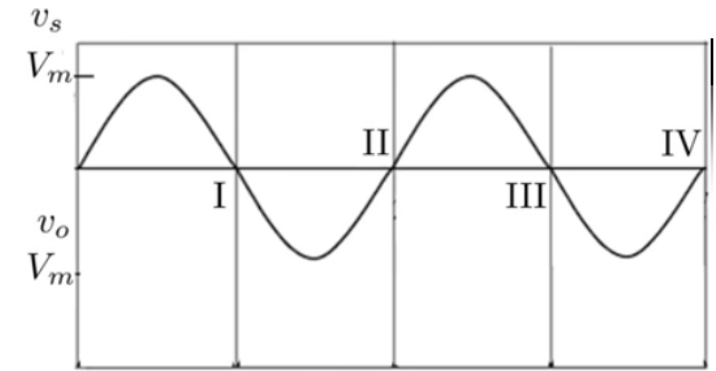
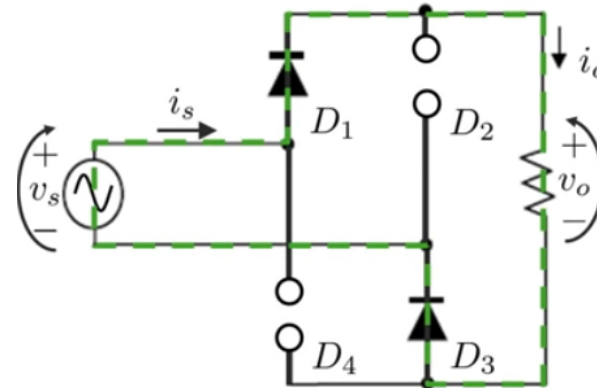
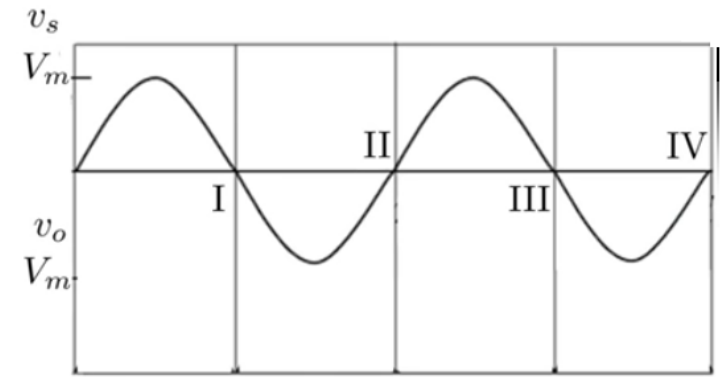
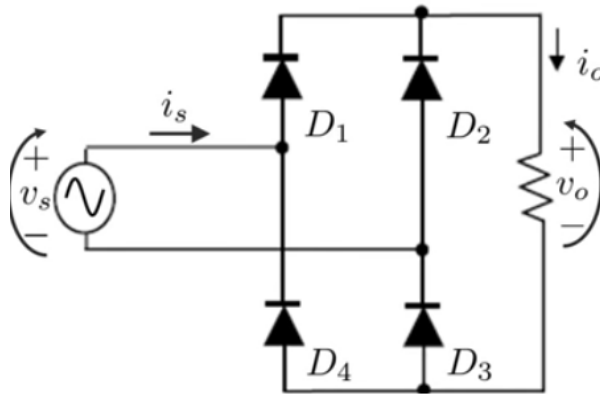
Diodes



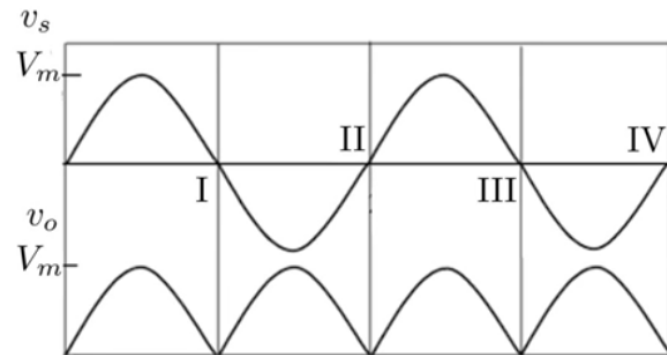
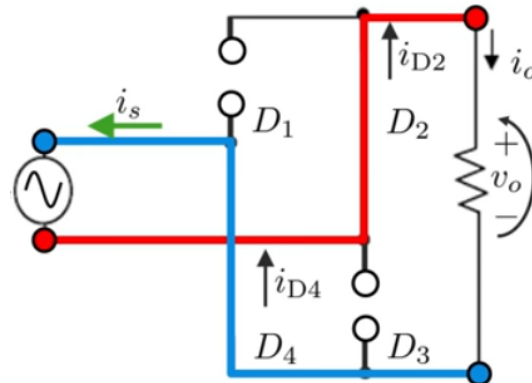
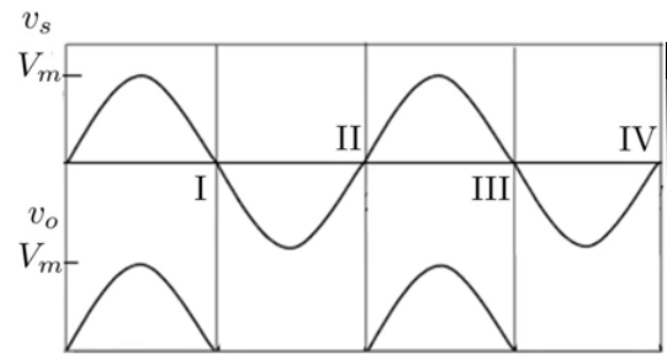
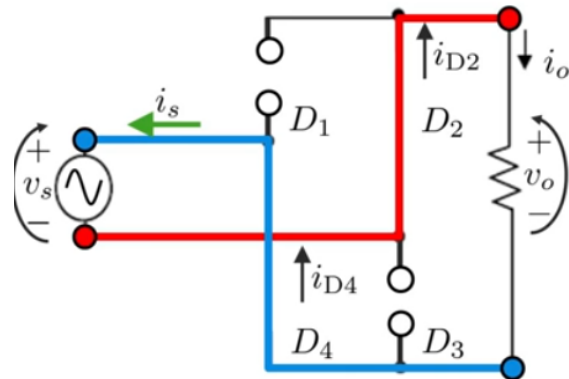
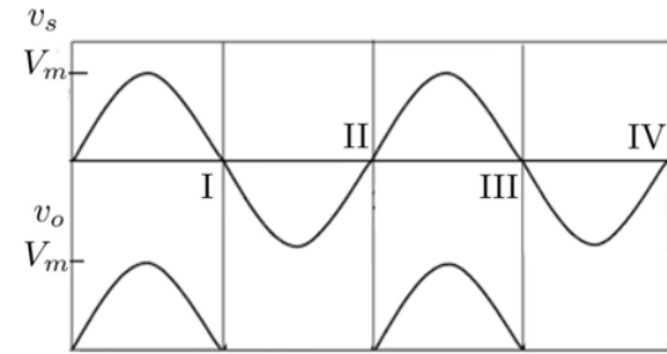
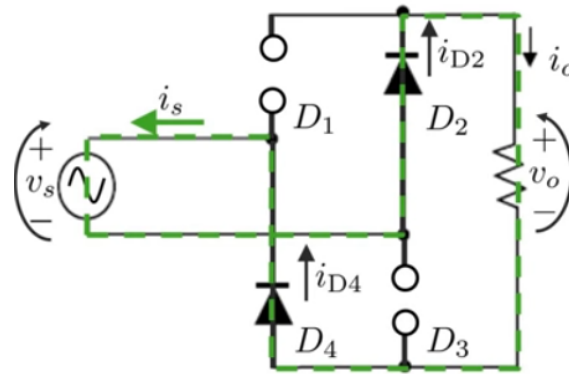
- Οι μετατροπείς ισχύος μπορούν να προσαρμόσουν την τάση και τη συχνότητα της τροφοδοσίας στην τάση και τη συχνότητα που απαιτείται από το φορτίο.
- Αυτό γίνεται μέσω **ημιαγωγικών στοιχείων** ισχύος, όπως οι **δίοδοι**.
- Μια δίοδος είναι ένας ημιαγωγός, που επιτρέπει σε ένα ρεύμα να ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση, από την άνοδο στην κάθοδο.
- Όταν η τάση στην πλευρά εισόδου είναι υψηλότερη από την τάση στην πλευρά εξόδου, το ρεύμα θα ρέει προς την κατεύθυνση της εξόδου.
- Εάν η τάση στο σημείο της καθόδου είναι υψηλότερη από εκείνη του σημείου της ανόδου, το ρεύμα θα προσπαθεί να ρεύσει προς την αντίθετη κατεύθυνση, ωστόσο, η δίοδος θα εμποδίσει την ροή ρεύματος.

AC to DC, Ανορθωτής

- Όταν η τάση είναι θετική, το οποίο αντιστοιχεί στις χρονικές περιόδους I και III, οι δίοδοι D1 και D3 θα άγουν και οι δίοδοι D2 και D4 θα μπλοκάρουν το ρεύμα, λόγω της θετικής κατεύθυνσης του ρεύματος.
- Παρατηρούμε ότι η κατεύθυνση του βέλους τόσο στην είσοδο όσο και στην τάση εξόδου πηγαίνει από τον κόμβο που επισημαίνεται με μπλε χρώμα στον κόμβο που επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα.
- Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο τάσεις είναι ίδιες σε μέγεθος και κατεύθυνση, επομένως η τάση εξόδου είναι ίδια με την τάση εισόδου στις χρονικές περιόδους I και III, όπως φαίνεται στην εικόνα.

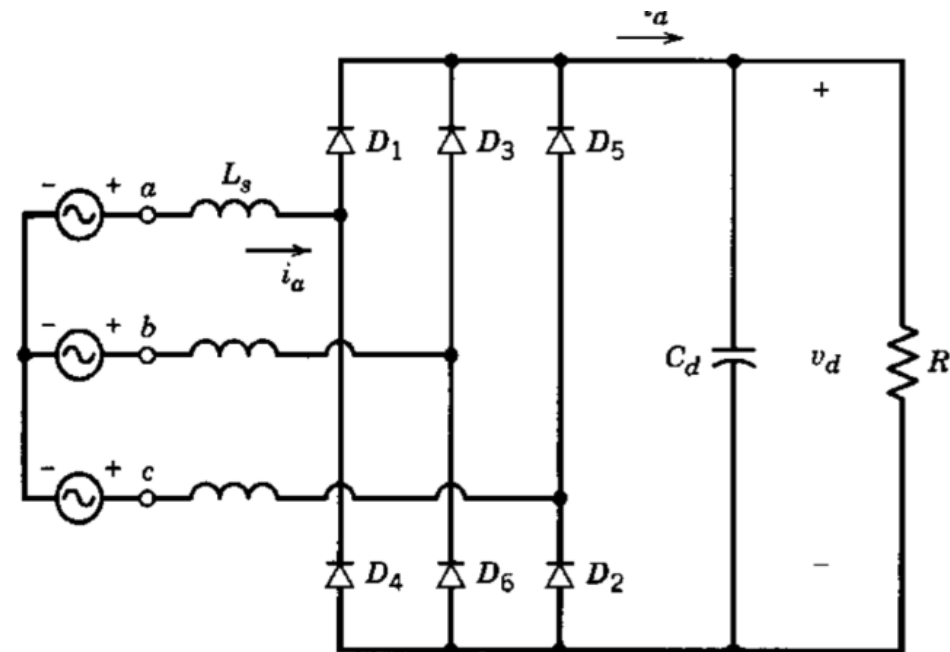
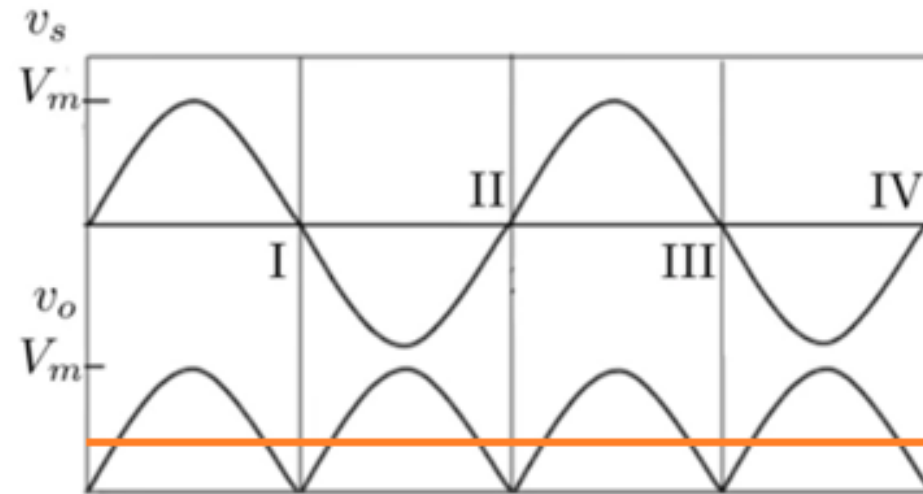


- Όταν η τάση είναι αρνητική, που αντιστοιχεί στις χρονικές περιόδους II και IV, οι δίοδοι D2 και D4 θα άγουν και οι δίοδοι D1 και D3 θα μπλοκάρουν το ρεύμα.
- Παρατηρούμε ότι η κατεύθυνση των βέλων είναι διαφορετική σε αυτή την περίπτωση. Η κατεύθυνση του ρεύματος στην είσοδο πηγαίνει από τον κόμβο που επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα στον κόμβο που επισημαίνεται με μπλε χρώμα, ενώ η κατεύθυνση του ρεύματος στην έξοδο πηγαίνει από τον κόμβο που επισημαίνεται με μπλε χρώμα στον κόμβο που επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα.
- Αυτό σημαίνει ότι η τάση εξόδου έχει το ίδιο μέγεθος αλλά είναι αντίθετη κατεύθυνση από την τάσης εισόδου.



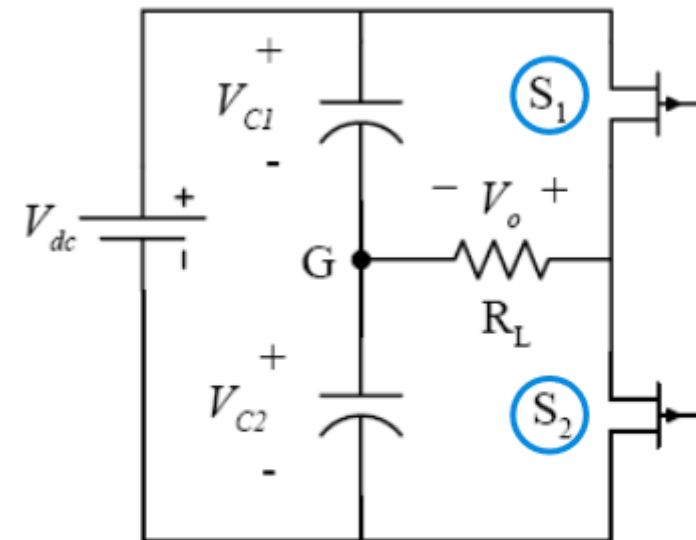
AC – DC Rectifier ή Ανορθωτής

- Το σήμα της τάσης στην έξοδο είναι τώρα θετικό σε όλες τις χρονικές περιόδους και η μέση γραμμή τάσης έχει σταθερή θετική τιμή. Λέγεται λοιπόν ότι η τάση ανορθώθηκε.
- Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της λειτουργίας του από AC σε DC, ο μετατροπέας ισχύος καλείται ανορθωτής (Rectifier).
- Ένας ανορθωτής είναι απαραίτητος, για παράδειγμα, όταν συνδέουμε έναν φορητό υπολογιστή, ο οποίος λειτουργεί σε DC, στην πρίζα εναλλασσόμενου ρεύματος AC.
- **Κάτω δεξιά απεικονίζεται μια πιο σύνθετη διάταξη τριφασικού ανορθωτή** η οποία όμως ακολουθεί παρόμοια αρχή λειτουργίας.

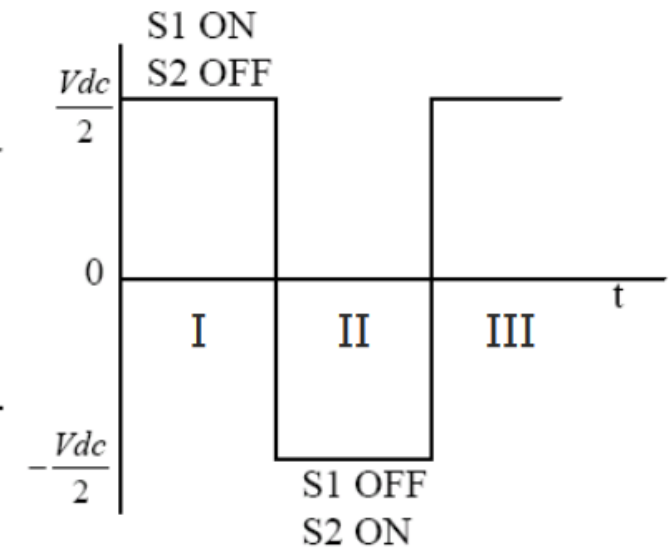
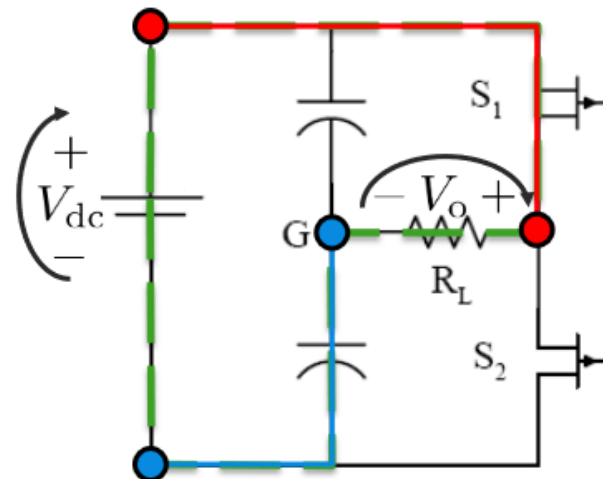
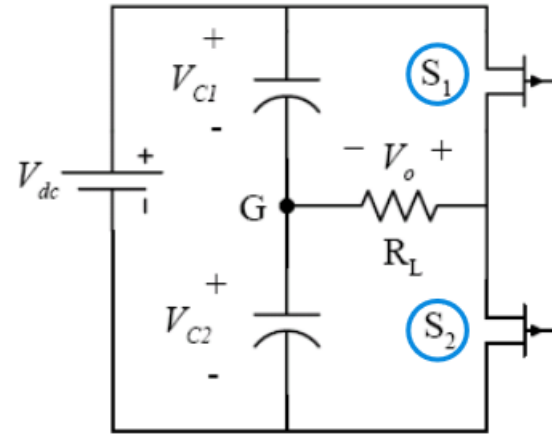


DC – AC Αντιστροφέας ή Inverter

- Οι μετατροπείς ισχύος μπορούν να περιέχουν ανεξέλεγκτες διατάξεις ημιαγωγών όπως είναι δίοδοι ή **ελεγχόμενες διατάξεις ημιαγωγών**, όπως τα **τρανζίστορ** και τα **MOSFETS**, τα οποία χρησιμοποιούνται ως διακόπτες.
- Τα S_1 και S_2 στο σχήμα είναι ελεγχόμενοι διακόπτες και το κύκλωμα που φαίνεται έχει σταθερή τάση DC στην είσοδο.

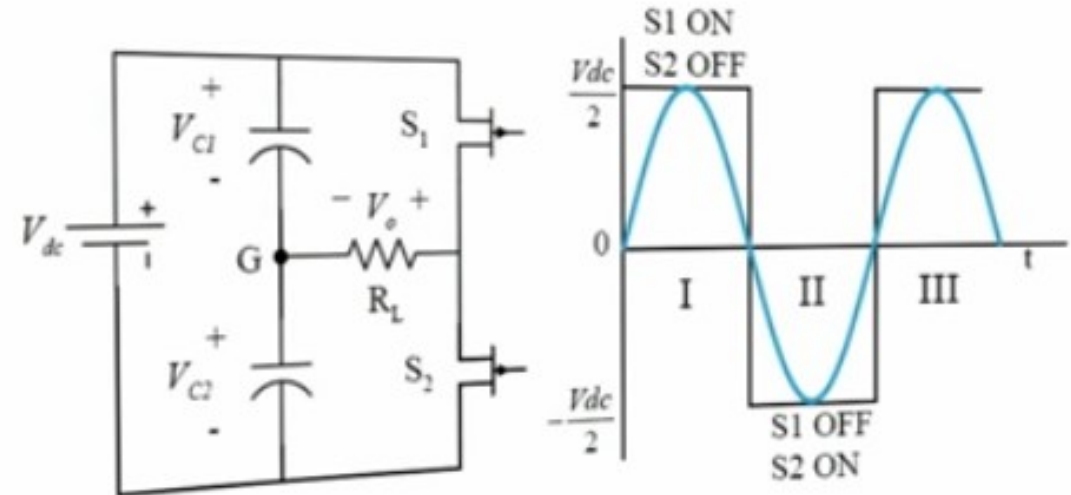
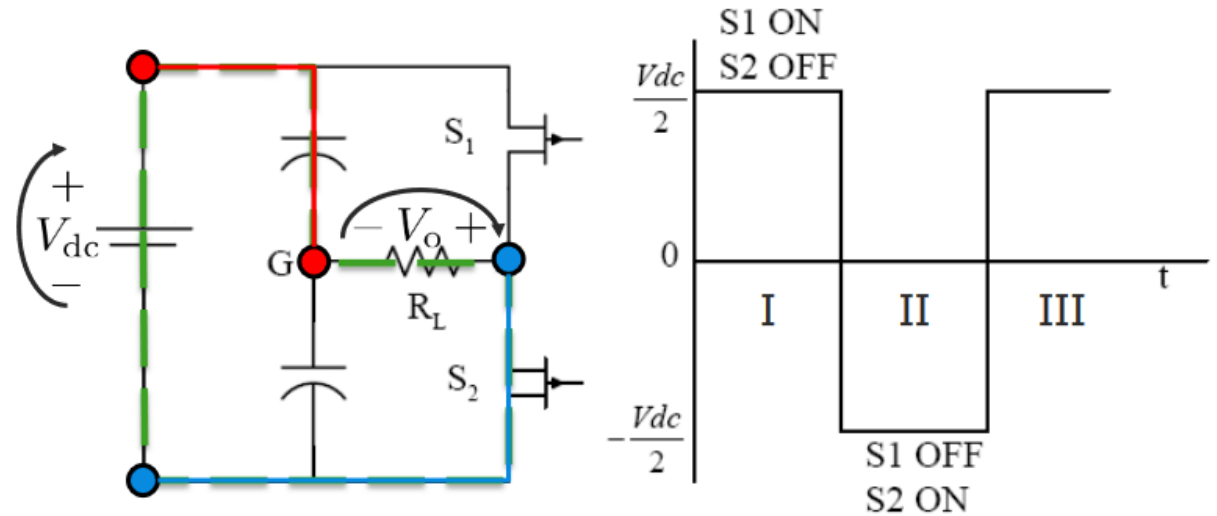


- Αν το **S1** είναι ενεργοποιημένο (On) και το **S2** είναι απενεργοποιημένο (Off), το κύκλωμα θα άγει ηλεκτρικό ρεύμα μέσω της επισημασμένης διαδρομής.
- Σε αυτή την περίπτωση, το μέτρο και η κατεύθυνση της τάσης εξόδου " V_o " είναι ίσες με το μισό μέτρο στην ίδια κατεύθυνση της τάσης εισόδου " V_{dc} ".
- Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα αναγνωρίζοντας ότι τα δύο βέλη πηγαίνουν από τον κόμβο που επισημαίνεται με μπλε χρώμα στον κόμβο που επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα.
- Αυτό αντιστοιχεί στις χρονικές περιόδους I και III.



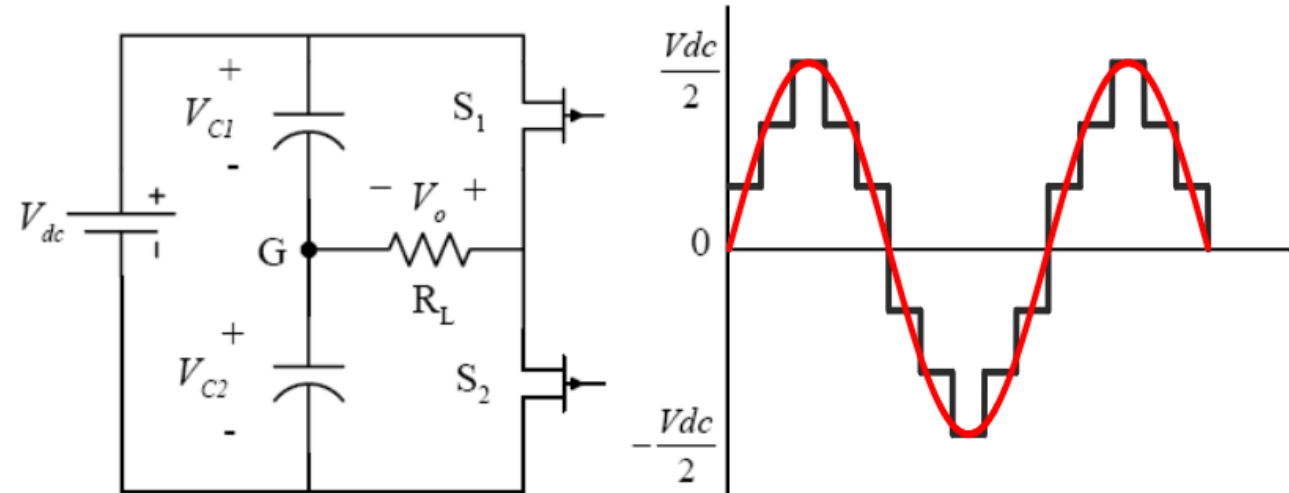
Inverter

- Αντίθετα Όταν, το **S1** είναι απενεργοποιημένο (Off) και το **S2** είναι ενεργοποιημένο (On), στο κύκλωμα θα ρέει ρεύμα μέσω της επισημασμένης διαδρομής.
- Το μέτρο της τάσης εξόδου " V_o " είναι ίσο με το μισό μέτρο της τάσης εισόδου " V_{dc} ", αλλά η κατεύθυνση είναι αντίθετη.
- Στο σχήμα φαίνεται επίσης ότι η κατεύθυνση των βέλων είναι διαφορετική.
- Το βέλος στην είσοδο πηγαίνει από τον μπλε κόμβο στον κόκκινο κόμβο, ενώ το βέλος στην έξοδο πηγαίνει από τον κόκκινο κόμβο στον μπλε κόμβο.
- Αυτό αντιστοιχεί στη χρονική περίοδο II.



DC – AC Inverter

- Όταν εξετάζουμε το παραγόμενο σήμα τάσης στην έξοδο, βλέπουμε ότι εναλλάσσεται από τα θετικά στα αρνητικά με μια περιοδικότητα.
- Παρόλο που αυτό απέχει πολύ από ένα τέλειο ημιτονοειδές κύμα, παρ' αυτά μοιάζει με αυτό.
- Η τοπολογία του κυκλώματος μέσα στον μετατροπέα ισχύος καθορίζει πόσο κοντά θα είναι το τελικό σήμα σε μια τέλεια ημιτονοειδές κύματομορφή.
- Με τη χρήση περισσότερων ημιαγωγών σε πιο πολύπλοκες εφαρμογές, είναι δυνατό να επιτευχθούν καλύτερα σήματα εξόδου.

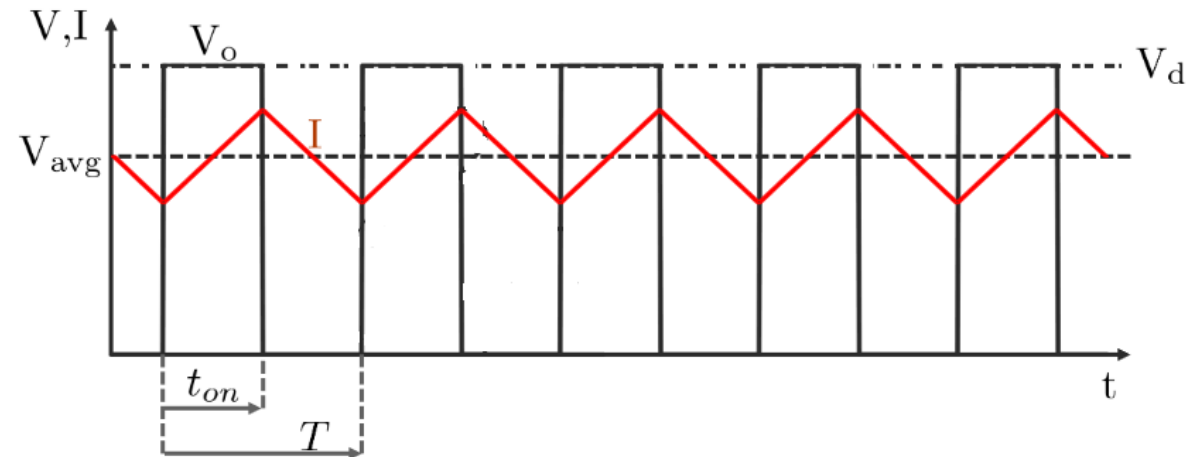
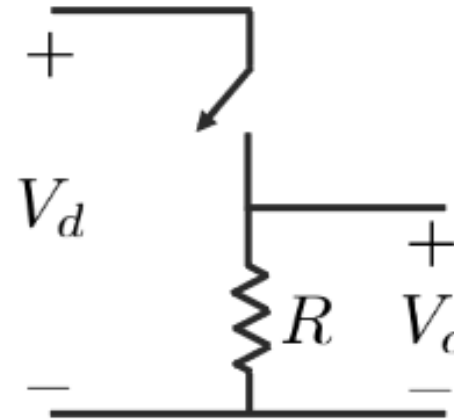


DC – DC Μετατροπέας (Converter)

- Ο ρόλος των ηλεκτρονικών ισχύος δεν περιορίζεται στην μετατροπή AC σε DC ή DC σε AC, αλλά είναι ευρύτερος.
- Οι μετατροπείς DC-DC επιτρέπουν επίσης τη ρύθμιση της στάθμης της τάσης εξόδου έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί ένα ηλεκτρικό φορτίο άμεσα σε πηγή dc.
- Για παράδειγμα, ένας μετατροπέας DC - DC δύναται να χρησιμοποιηθεί για την διασύνδεση μπαταρίας με ΦΒ όπου μειώνει συνήθως την τάση εξόδου των ΦΒ στα επίπεδα τάσης της μπαταρίας.
- Ένας μετατροπέας DC - DC χρησιμοποιεί το *τρανζίστορ ως ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο.*

Ο Μετατροπέας DC-DC

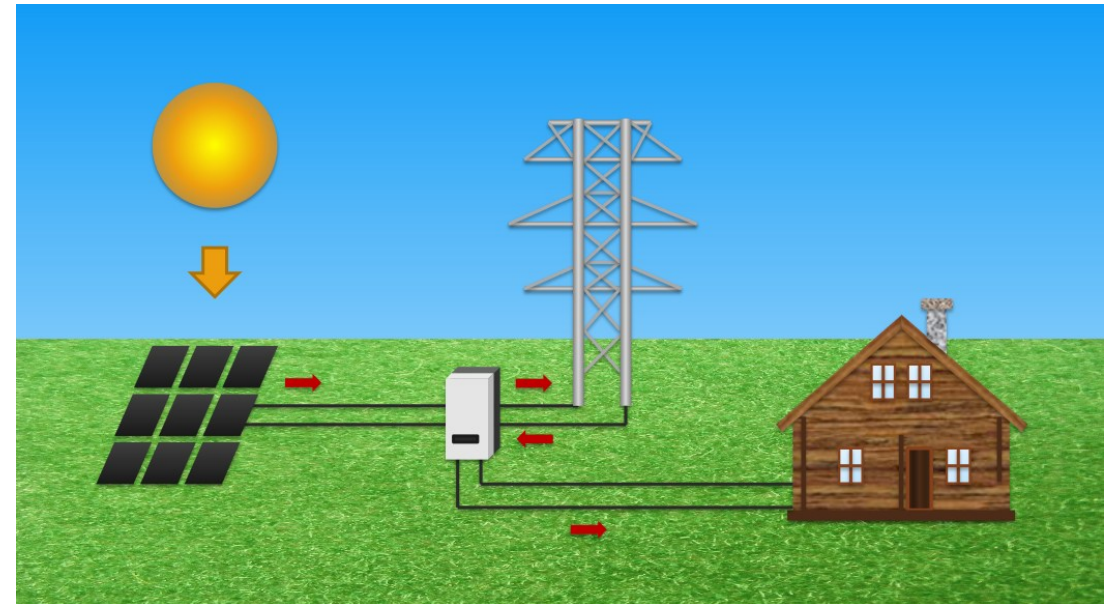
- Στο κύκλωμα, το τρανζίστορ ενεργοποιείται και απενεργοποιείται. Ως εκ τούτου, η τάση στην εξόδο έχει ορθογώνια μορφή.
- Η μέση τάση εξόδου **V_{avg}** είναι ίση με τον λόγο **t_{on} προς την περίοδο T** , επί την τάση εισόδου **V_d** , όπου t_{on} είναι ο χρόνος ενεργοποίησης του τρανζίστορ.
- Αυτός ο λόγος ονομάζεται **Duty Cycle**.
- Ο τελευταίος τύπος μετατροπέων είναι ο μετατροπέας ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος AC-AC, ωστόσο η αρχή λειτουργίας αυτού του μετατροπέα δεν αποτελεί αντικείμενο αυτού του μαθήματος.



$$V_{avg} = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_d$$

PV System = Modules & Inverter

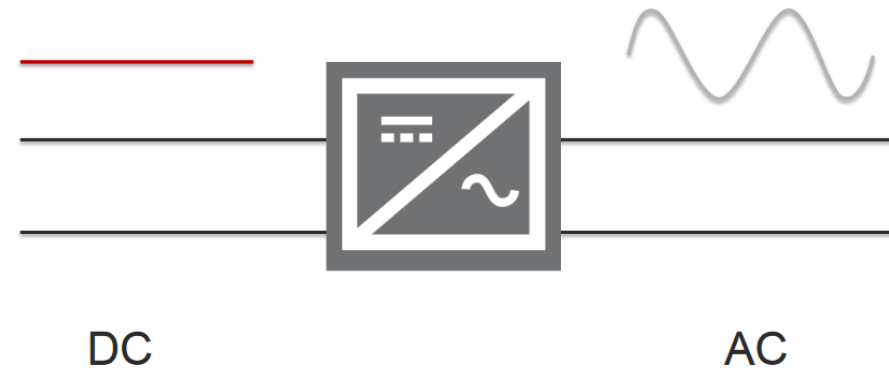
- Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην πιο απλή του μορφή είναι ένας συνδυασμός ΦΒ συστοιχιών και μετατροπέων ισχύος, μέσω του οποίου αξιοποιούμε την ενέργεια από τον ήλιο.
- Εάν αυτός ο συνδυασμός θα περιέχει και μπαταρία εξαρτάται από την **τοπολογία** του συστήματος.



Inverter

- Η τάση στην έξοδο μιας φωτοβολταϊκής μονάδας είναι συνεχούς ρεύματος.
- Οι περισσότερες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, αν και μερικές φορές το εσωτερικό κύκλωμα των συσκευών μπορεί να λειτουργεί με DC.
- Οπότε ένας αντιστροφέας ηλεκτροδοτεί με τάση AC όλες τις «καταναλώσεις».

Inverter



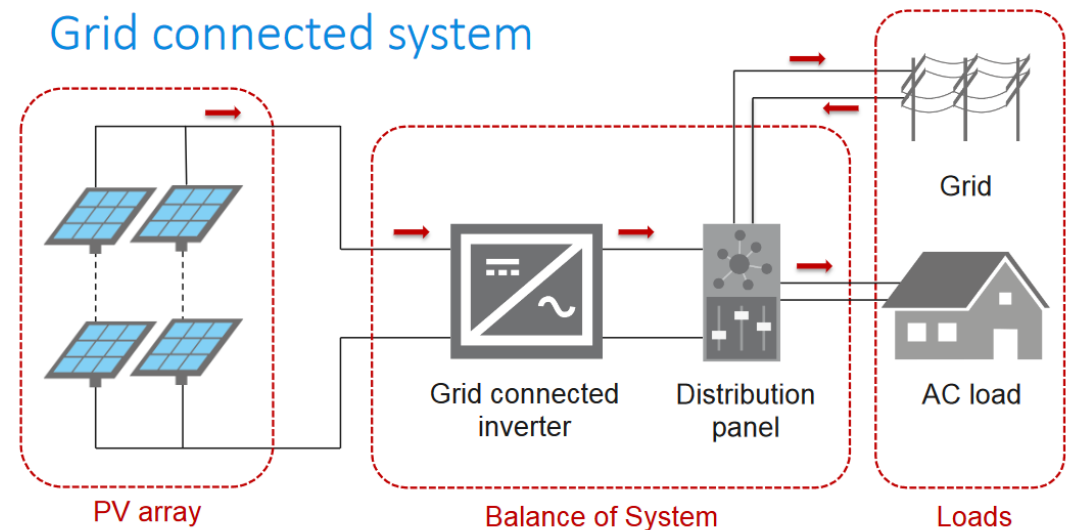


Inverter Mode

- Οι αντιστροφείς ταξινομούνται βάσει του **τρόπου λειτουργίας τους, του μεγέθους τους ή της τοπολογίας τους**.
- Υπάρχουν αντιστροφείς για συστήματα
 - που συνδέονται στο δίκτυο διανομής (**Grid Tied**),
 - αντιστροφείς για αυτόνομα συστήματα (**Off Grid**) και
 - αντιστροφείς που μπορούν να εφαρμοστούν σε καταστάσεις που απαιτούν και τους δύο τύπους σύνδεσης, που ονομάζονται διττή (**Bimodal**).
- Οι δύο πρώτοι τύποι είναι οι συνηθέστεροι. Αριστερά πάνω OffGrid Inverter από την Victron Energy και αριστερά κάτω GridTied Inverter από την SMA.

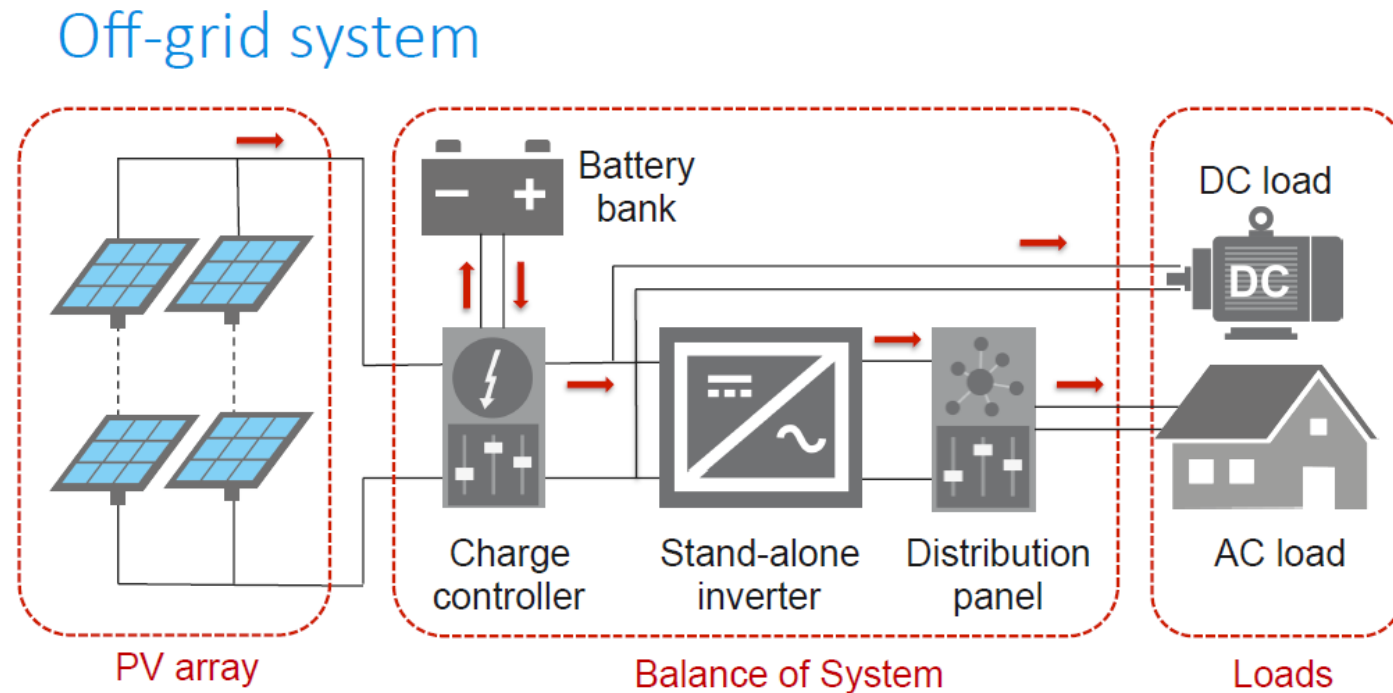
Grid - connected PV system

- Οι ΦΒ συστοιχίες βρίσκονται συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής AC μέσω ενός Grid Tied αντιστροφέα.
- Συνδεδεμένο στο δίκτυο **σημαίνει** ότι κάποιο φορτίο μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είτε από το δίκτυο, ανάλογα με τη διαθέσιμη ακτινοβολία και τη ζήτηση.
- Ο αντιστροφέας προσαρμόζεται με τη συχνότητα και την τάση του δικτύου και τροφοδοτεί με ρεύμα το δίκτυο.



Off - grid or standalone PV system

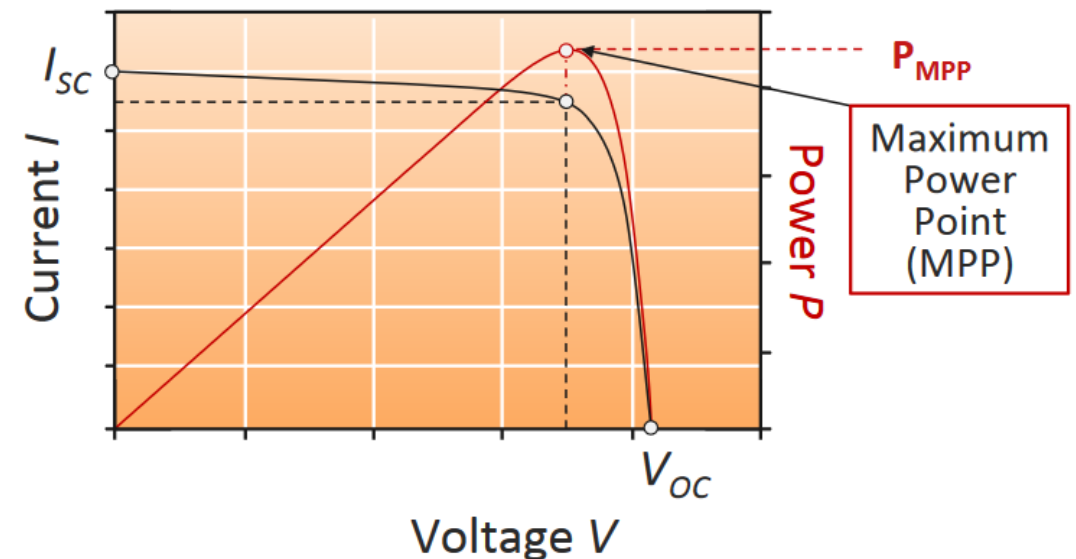
- Σε αυτή την περίπτωση, το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι το **φορτίο μπορεί να εξαρτάται μόνο από το φωτοβολταϊκό σύστημα για παροχή ρεύματος.**
- Ο αντιστροφέας που τροφοδοτεί με AC στο φορτίο, εμφανίζεται ως πηγή τάσης με σταθερή τάση και συχνότητα, στα 230Vac / 50Hz.
- Σε ένα σύστημα εκτός δικτύου πρέπει να αποθηκεύεται η πλεονάζουσα ενέργεια προκειμένου το σύστημα να μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και τη νύχτα όταν δεν υπάρχει παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας.



MPPT as additional functionality

- Χάρη στην πρόοδο των ηλεκτρονικών ισχύος, είναι σύνηθες να έχουμε μετατροπείς που εφαρμόζουν **μια μέθοδο εντοπισμού σημείων μέγιστης ισχύος** ή μηχανισμό **MPPT** πριν την αναστροφή της τάσης.
- Έτσι διασφαλίζεται ότι οι ΦΒ μονάδες λειτουργούν στο μέγιστο σημείο ισχύος τους ή στο σημείο MPP.

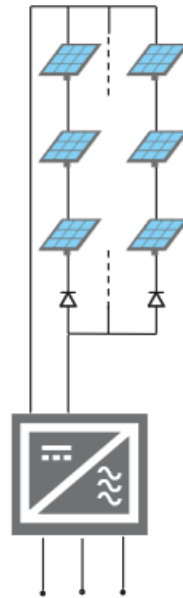
Maximum Power Point Tracking



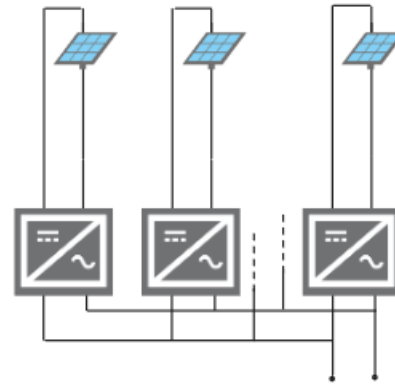
Implementation Topology

- Υπάρχουν **Κεντρικοί αντιστροφείς**, οι οποίοι συνήθως κυμαίνονται από αρκετά kW έως 100 MW.
- Υπάρχουν αντιστροφείς μονάδων ή **μικρο-αντιστροφείς**, που συνήθως έχουν ονομαστική ισχύ από 50 έως 500W.
- Οι **αντιστροφείς συστοιχιών**, που συνήθως έχουν ονομαστική ισχύ από 500W έως μερικά kW.
- **Πολύ-συστοιχιακοί αντιστροφείς** σειράς, που συνήθως έχουν εύρος από 1kW έως 10kW.

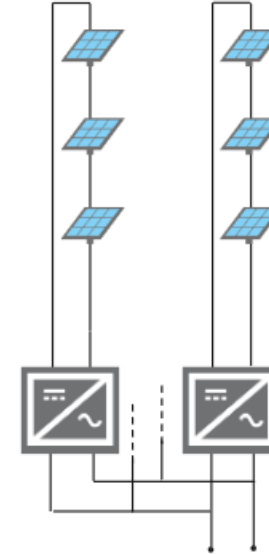
Central inverter



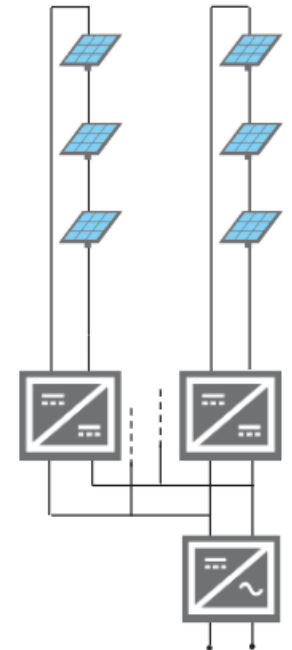
Module inverter



String inverter



Multi-string inverter



Central Inverter

- Ένας κεντρικός αντιστροφέας εξυπηρετεί όλες τις φωτοβολταϊκές μονάδες ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.
- Πλεονέκτημα αποτελεί ο **εύκολος σχεδιασμός** και υλοποίηση τέτοιων συστημάτων.
- Ωστόσο σε **πολύ ισχυρά συστήματα**, το ρεύμα DC μεταφέρεται με μεγάλα καλώδια στον κεντρικό αντιστροφέα. Αυτό αυξάνει το κόστος καλωδίωσης και επίσης μειώνει την ασφάλεια, καθώς μεγάλα ρεύματα DC είναι δύσκολο να διακοπούν.
- Φέρει **μόνο έναν μηχανισμό MPPT** εντός του κεντρικού αντιστροφέα που καλύπτει το σύνολο του συστήματος. Αυτό έχει ως συνέπεια να μειώνεται δραστικά η απόδοση του συστήματος στην περίπτωση μερικής σκίασης ή μερικών σφαλμάτων στα ΦΒ πλαίσια.

Micro Inverters

- Εδώ κάθε ΦΒ μονάδα διαθέτει έναν αποκλειστικό αντιστροφέα με μηχανισμό παρακολούθησης MPP.
- Συνεπώς, η τοπολογία είναι πιο **ανθεκτική σε μερικά φαινόμενα σκίασης** σε σύγκριση με την τοπολογία του κεντρικού αναστροφέα.
- Επίσης παρέχει **ευελιξία στον σχεδιασμό** τέτοιων συστημάτων.
- Το κόστος καλωδίωσης DC μειώνεται.
- Ωστόσο, **το κόστος επένδυσης και συντήρησης αυξάνεται σημαντικά**, ειδικά ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος (W_p).

String Inverters

- Το ΦΒ σύστημα που αξιοποιεί αντιστροφέα συστοιχιών είναι πιο **ανθεκτικό σε σφάλματα και φαινόμενα σκίασης** επειδή κάθε συστοιχία λειτουργεί με ανεξάρτητο MPPT, εξασφαλίζοντας έτσι **υψηλότερη ενεργειακή απόδοση**.
- Ωστόσο, η μερική σκίαση σε αυτήν την τοπολογία έχει **μεγαλύτερη επίδραση** απ' ότι στην τοπολογία του μικρο-αντιστροφέα.
- Οι αντιστροφείς συστοιχιών είναι **μικρότεροι σε ισχύ** από τους κεντρικούς μετατροπείς.
- Η υλοποίηση αυτών των συστημάτων είναι **πιο πολύπλοκη**.

Multi String Inverters

- Αυτός ο τύπος αντιστροφέα **συνδυάζει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση των αντιστροφέων συστοιχίας με το χαμηλότερο κόστος του κεντρικού μετατροπέα.**
- Κάθε μία από τις συστοιχίες συνδέεται, πριν από την εφαρμογή της στον αντιστροφέα, σε **ανεξάρτητο μετατροπέα** χαμηλής ισχύος DC - DC ο οποίος διαθέτει **δικό του μηχανισμό MPP.**
- Όλοι οι μετατροπείς συνδέονται τελικά, μέσω των ζυγών συνεχούς ρεύματος (**DCBus**), στον αντιστροφέα και εν συνεχεία στο δίκτυο.
- Σε ορισμένους τύπους multistring inverter υπάρχει η επιπρόσθετη λειτουργία της **εφεδρείας από το δίκτυο (BackUp).**

Choosing an Inverter

- Οι αντιστροφείς οφείλουν να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικοί. Συνήθως οι τυπικές **αποδόσεις** κυμαίνονται άνω του **95%** σε πρότυπες συνθήκες.
- Πρέπει να φέρουν ενσωματωμένο μηχανισμό **MPP** πλην της περίπτωσης του πολυσυστοιχιακού αντιστροφέα.
- Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο οφείλουν να έχουν την δυνατότητα **ανίχνευσης της νησιδοποίησης**. Λόγω των ζητημάτων ασφάλειας, η νησιδοποίηση πρέπει να προλαμβάνεται. Επομένως, οι αντιστροφείς πρέπει να ανιχνεύουν και να ανταποκρίνονται αμέσως, σταματώντας την διοχέτευση ενέργειας στο δίκτυο διανομής.
- Πρέπει να είναι **υψηλής ποιότητας** και να συμμορφώνονται με τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας της θέσης όπου αναμένεται να εγκατασταθούν.
- Ένας καλός αντιστροφέας, υπό ευνοϊκές συνθήκες, έχει ένα κύκλο ζωής περίπου **10 - 12 χρόνια** με ανάλογη εγγύηση.

