

ΤΥΠΙΚΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης, μεγαλύτερος από 95%.
- Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης, μεγαλύτερος από 93%.
- Εξαιρετικά ακριβής ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT).
- Κατανάλωση των εσωτερικών κυκλωμάτων του αντιστροφέα μικρότερη από 1% της ονομαστικής ισχύος κατά τη λειτουργία του.
- Ελάχιστη (έως μηδενική κατανάλωση) των εσωτερικών κυκλωμάτων του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Ανίχνευση σφαλμάτων ως προς γη (Earth monitoring).
- Προστασία έναντι υπερφόρτισης (Overload operation).
- Κατώφλι έναρξης λειτουργίας του αντιστροφέα κάτω από το 10% της ονομαστικής ισχύος του.
- Ενδεικτικά σφαλμάτων, καλής λειτουργίας, παρακολούθηση βασικών ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β συστήματος.



Απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές των αντιστροφένων για τη διασύνδεση με το δίκτυο Χ.Τ. (1)



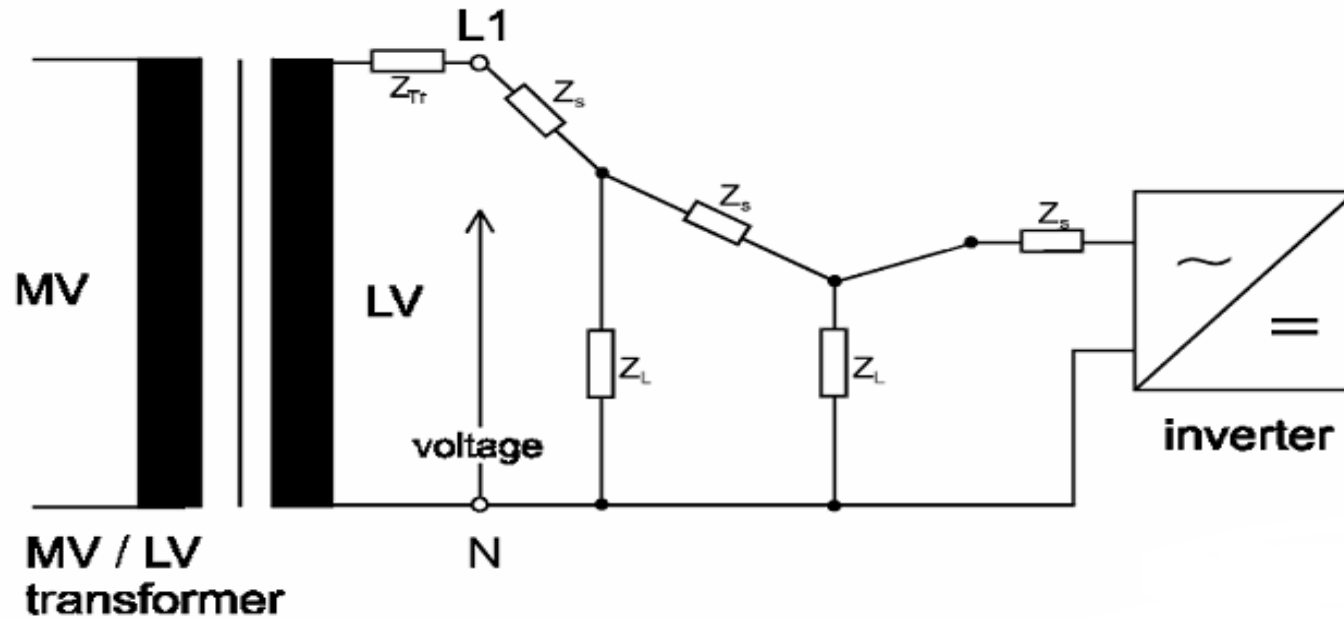
Ο Διαχειριστής του Δικτύου επιβάλλει, ως απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής, την επίτευξη:

- ➔ **Συντελεστή Αρμονικής Παραμόρφωσης** (Total Harmonic Distortion, T.H.D.) του ρεύματος εξόδου της εγκατάστασης μικρότερο ή οριακά ίσο με 5%,
- ➔ **Συντελεστή Ισχύος** (Power Factor, PF) μεγαλύτερο από 0.9 για επαγωγική και χωρητική συμπεριφορά,
- ➔ Μέγιστη **τιμή εγχεόμενου συνεχούς ρεύματος** το πολύ ίση με το 0.5% του ονομαστικού ρεύματος της εγκατάστασης.



Σκοπός των παραπάνω προδιαγραφών είναι η οικονομική λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος (μέσω του περιορισμού των απωλειών στους αγωγούς του δικτύου) και η αποφυγή εμφάνισης φαινομένων κορεσμού στους μετασχηματιστές του δικτύου.

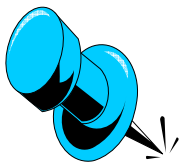
ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ (1)



Z_{Tr} , η εμπέδηση του Μ/Σ διανομής

Z_s , η εμπέδηση του διακόπτη, του μετρητή ενέργειας, των γραμμών διανομής

Z_L , η εμπέδηση του φορτίου

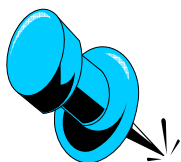
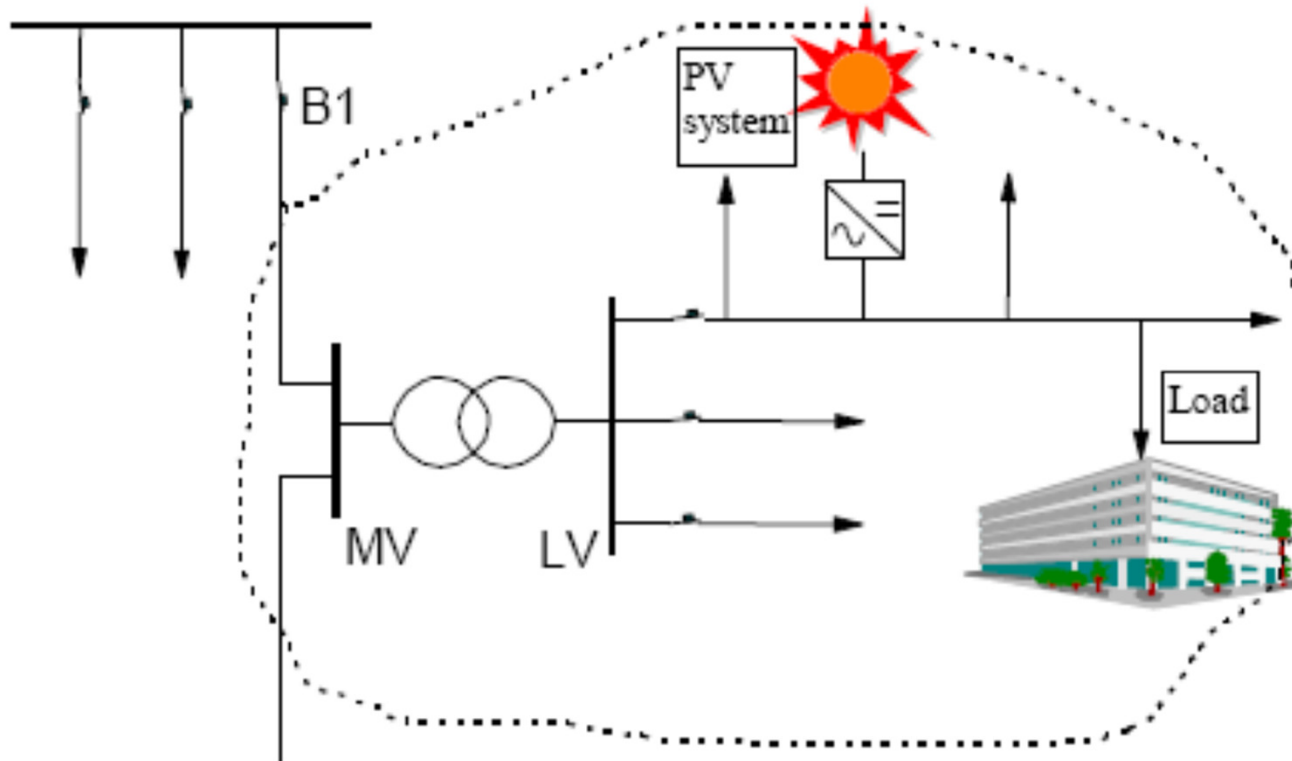


Φαινόμενο νησιδοποίησης (Islanding)



Ο αντιστροφέας του Φ/Β συστήματος συνεχίζει να τροφοδοτεί το φορτίο και τις γραμμές στην πλευρά ΧΤ, παρά το γεγονός ότι ο Μ/Σ διανομής δεν είναι ενεργός (ο αντιστροφέας δεν αντιλαμβάνεται την απενεργοποίηση του δικτύου).

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ (2)



Επαναφορά συστήματος (Re-closing)



Η ενεργοποίηση του Μ/Σ διανομής μετά από την εκκαθάριση σφάλματος μπορεί να συνδέσει με το δίκτυο νησιδοποιημένες περιοχές. Επομένως, υπάρχει κίνδυνος διαφοράς φάσης ανάμεσα στην τάση της νησίδας και στην τάση του δικτύου διανομής.

Ο ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (1)



Υψηλή τιμή μέγιστου βαθμού απόδοσης δεν συνεπάγεται αναγκαστικά και υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα.



Θεωρώντας ότι η απόδοση ενός μετατροπέα παραμένει περίπου σταθερή για συγκεκριμένες ζώνες μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας, ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\eta_{EU} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%}$$

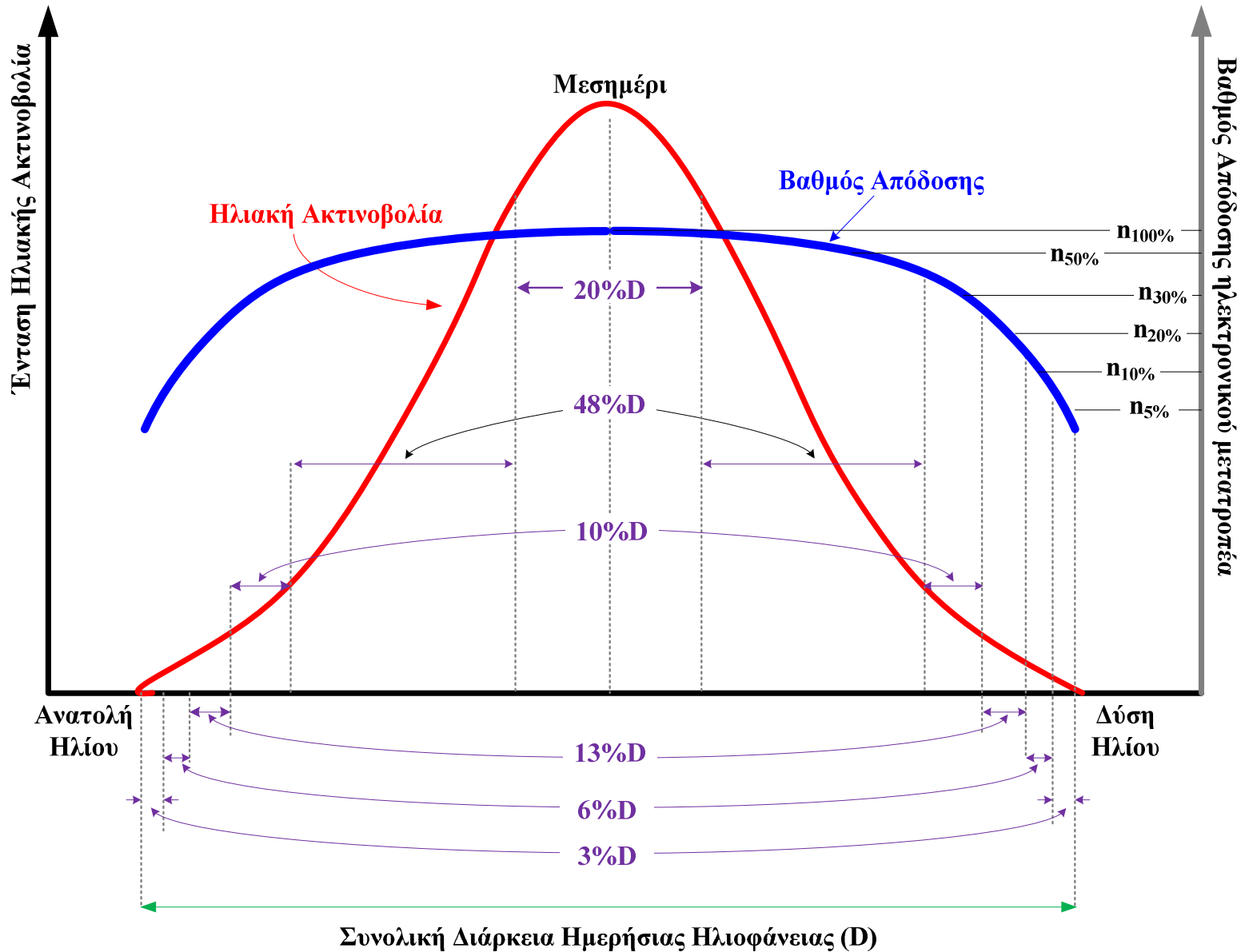


Η αποδοτικότητα του μετατροπέα υπολογίζεται από το άθροισμα των επιμέρους βαθμών απόδοσης του (για διαφορετικά ποσοστά της μέγιστης δυνατής παραγόμενης ισχύος) πολλαπλασιάζοντας έκαστο εξ' αυτών με ένα συντελεστή βαρύτητας.



Οι συντελεστές αυτοί αντιπροσωπεύουν το επί της εκατό ποσοστό των χρονικών διαστημάτων στα οποία η απόδοση του μετατροπέα μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή, προς το συνολικό διάστημα ηλιοφάνειας.

Ο ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (2)



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (1)



Ανάλογα με τον τρόπο που συνδυάζονται οι δομικές μονάδες, τα Φ/Β συστήματα κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τεχνολογικές τάσεις:

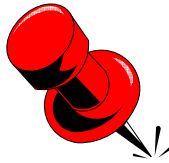
- **Κεντριοποιημένη τεχνολογία** (Centralized technology),
- **τεχνολογία Αλυσίδας** (String technology),
- **τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων** (Multi-string technology)
- **τεχνολογία Φ/Β Πλαισίων Εναλλασσομένου Ρεύματος** (AC-PV Module technology, ή PV M.I.C.-PV Module Integrated Converter).



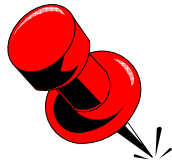
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (2)



Που έγκειται η διαφοροποίηση των παραπάνω τεχνολογικών δομών ;



Στον αριθμό των Φ/Β πλαισίων που συνδέονται ανά ηλεκτρονικό μετατροπέα (επίπεδο ισχύος του μετατροπέα).



Στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα Φ/Β πλαίσια (εν σειρά ή παράλληλη σύνδεση ή και συνδυασμός αυτών).

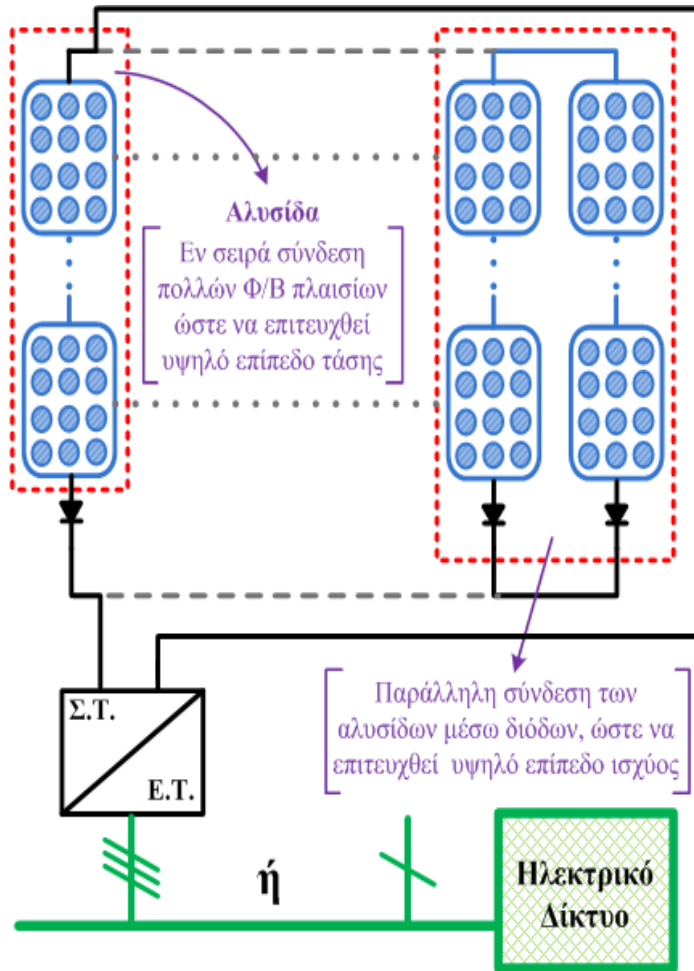




ΚΕΝΤΡΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (1)



Επίπεδο ισχύος αντιστροφεία έως και MW.



Χαρακτηριστικό παράδειγμα:

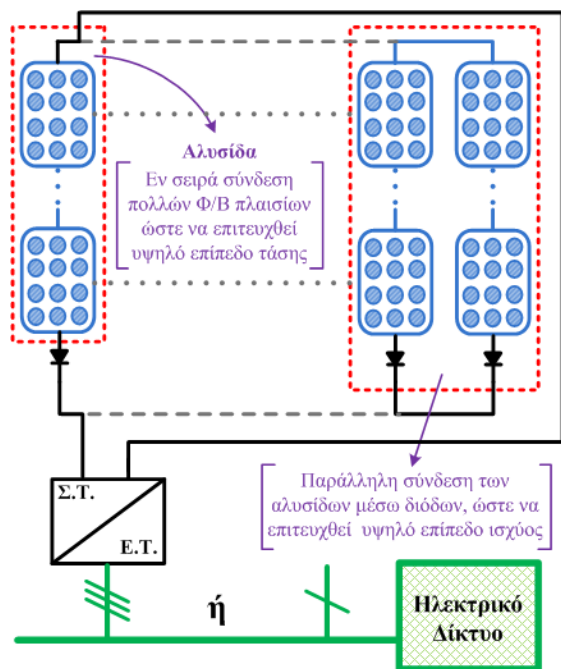
Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα ισχύος 330kW στο Pellworm της Γερμανίας το 1991.



Πλεονεκτήματα

Η Σ.Τ. στα άκρα των αλυσίδων είναι αρκετά μεγάλη και συνεπώς μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε Ε.Τ. με τη χρήση ενός μόνο αντιστροφεία.

ΚΕΝΤΡΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (2)



Εξαιρετικά απλή δομή αλλά η αποδοτικότητά της και η οικονομική της βιωσιμότητα αποδυναμώνεται από σημαντικά μειονεκτήματα:

Μειονεκτήματα



Υπαρξη ενός κεντρικού Μ.Ρ.Ρ.Τ. για το σύνολο των Φ/Β πλαισίων.



Υποχρεωτική χρησιμοποίηση διόδων αντεπιστροφής.



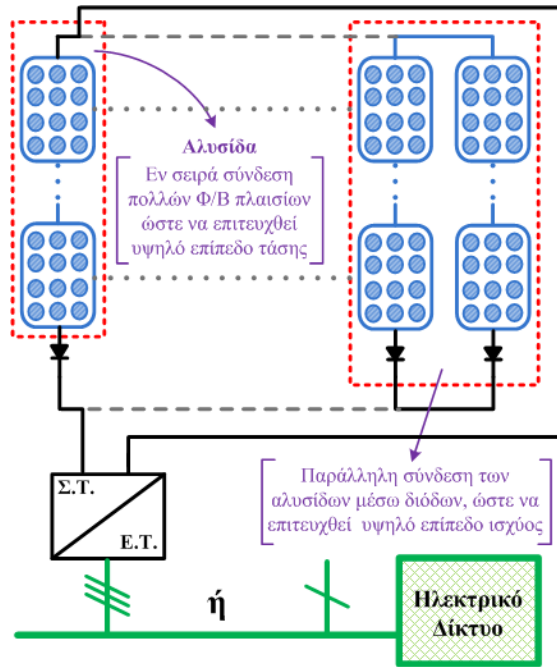
Απώλειες στις διόδους αντεπιστροφής.



Υψηλή τιμή συνεχούς τάσης μεταξύ του Φ/Β πλέγματος και του αντιστροφέα.



ΚΕΝΤΡΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (3)



Μειονεκτήματα

➔ Αναπόφευκτη διακοπή του συνόλου της ηλεκτροπαραγωγής σε περιπτώσεις προγραμματισμένης συντήρησης και σε περιπτώσεις αντικατάστασης μέρους του Φ/Β εξοπλισμού.

➔ Αδυναμία μαζικής παραγωγής.

➔ Ποιότητας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (κυρίως στο παρελθόν).

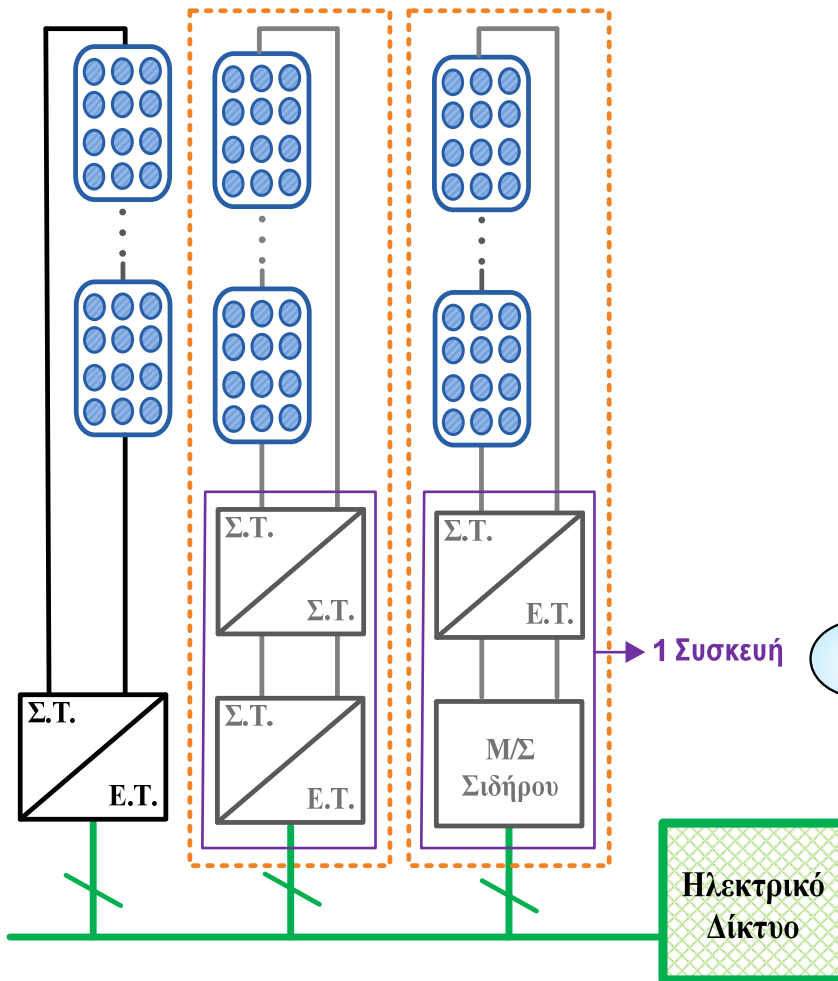
Κυκλωματικές τοπολογίες με θυρίστορ (έγχυση χαμηλόσυχνων αρμονικών ρεύματος σε συνθήκες μειωμένης ηλιοφάνειας).



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (1)



Μικρογραφία της Κεντριοποιημένης τεχνολογίας



Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στον Ευρωπαϊκό χώρο σε ευρεία κλίμακα το 1995, με την εμπορική παραγωγή του αντιστροφέα SWR 700 Sunny Boy της εταιρείας SMA Regelsystem GmbH.



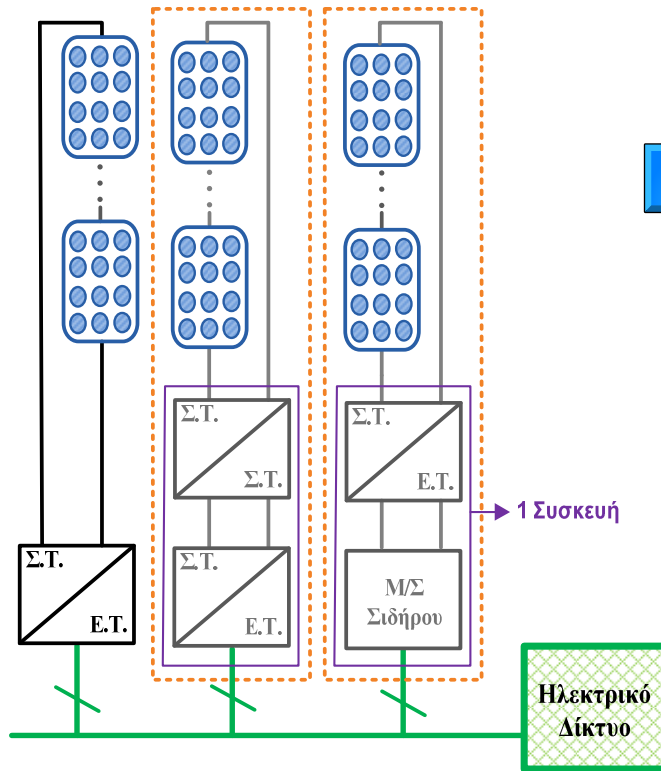
Στην είσοδο του μετατροπέα συνδέονται μία ή περισσότερες αλυσίδες.



Επίπεδο ισχύος αντιστροφέα από 0.7kW έως και 12kW.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (2)



Πλεονεκτήματα

- Η Σ.Τ. στα άκρα των αλυσίδων είναι αρκετά μεγάλη (συνήθης περίπτωση) και συνεπώς μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε Ε.Τ. με τη χρήση ενός μόνο αντιστροφέα.

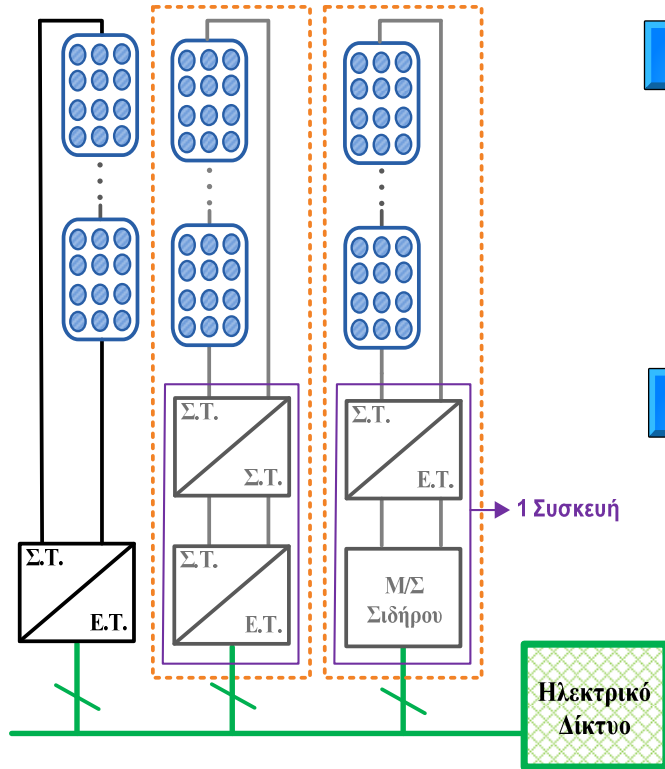
Σε αντίθετη περίπτωση η χρησιμοποίηση ενός μετατροπέα ανύψωσης Σ.Τ. σε Σ.Τ ή ενός χαμηλόσυχνου Μ/Σ είναι αναπόφευκτη.

- Κατάλληλη για αστικά κέντρα:

Δυνατότητα προσαρμογής σε μικρότερου μεγέθους επιφάνειες (συγκριτικά με την κεντροποιημένη δομή), με αντίστοιχο βέβαια περιορισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (3)

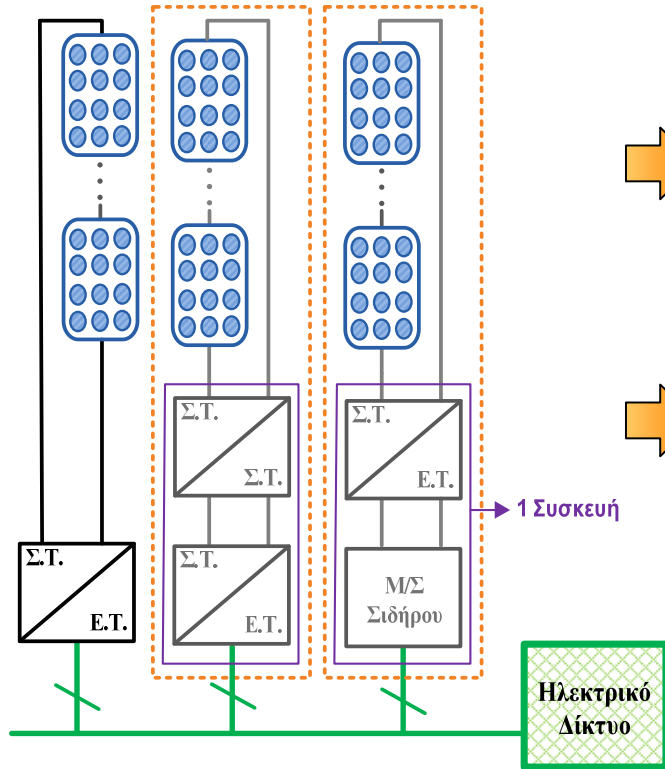


- Η παράλληλη λειτουργία πολλών Φ/Β συστημάτων τεχνολογίας Αλυσίδα επιτρέπει την παραγωγή μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δεν υπάρχουν διόδοι αντεπιστροφής.
περίπτωση: 1 αλυσίδα/μετατροπέα
- Έλεγχος μικρότερου αριθμού Φ/Β πλαισίων από τον χρησιμοποιούμενο Μ.Ρ.Ρ.Τ.



- Μερική μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιπτώσεις βλάβης. *Οι υπόλοιπες αλυσίδες συνεχίζουν να λειτουργούν.*
- Δυνατότητας μαζικής παραγωγής.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (4)



Μειονεκτήματα



Υψηλή τιμή συνεχούς τάσης μεταξύ του Φ/Β πλέγματος και του αντιστροφέα.



Υπαρξη ενός Μ.Ρ.Ρ.Τ. για το σύνολο των Φ/Β πλαισίων μιας αλυσίδας οδηγεί σε σημαντική μείωση της παραγωγής σε περιπτώσεις ανομοιόμορφης σκίασης.



Μειωμένη απόδοση του συστήματος λόγω της πιθανής χρησιμοποίησης δύο εν σειρά συνδεδεμένων μετατροπέων.

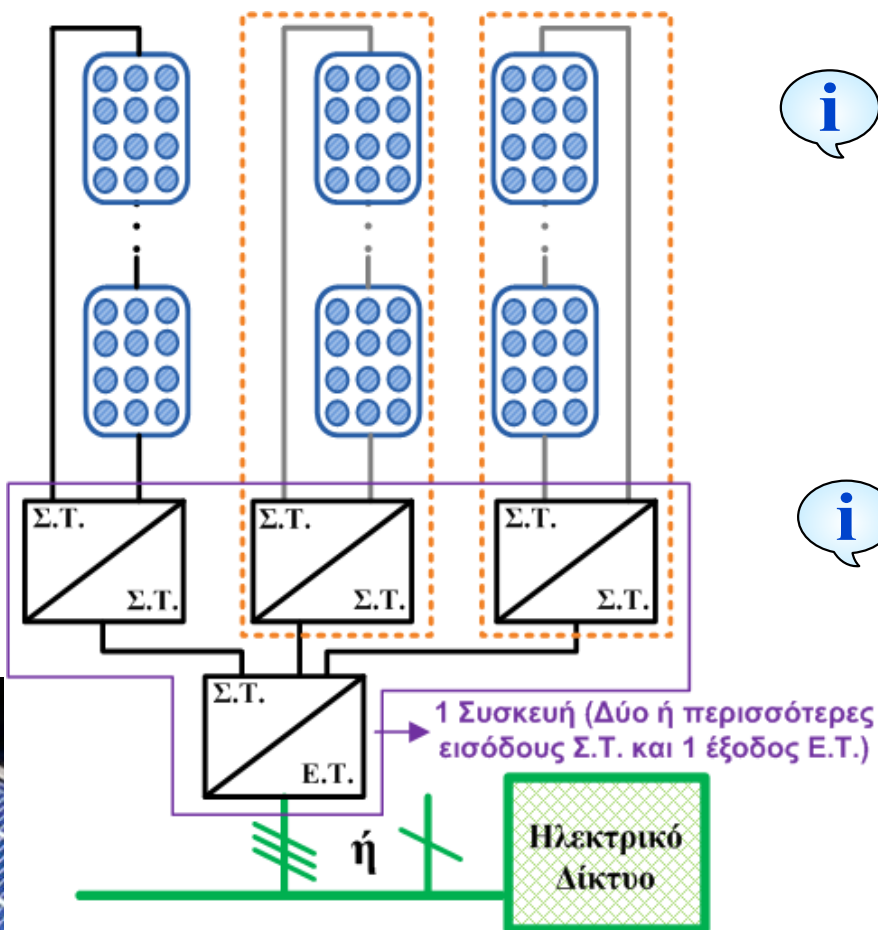


Πιθανή χρησιμοποίηση διόδων αντεπιστροφής.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ (1)



Η αρτιότερη πρόταση για την παραγωγή σημαντικών ποσών ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα μεγάλης κλίμακας. Εφαρμόζεται και σε μεγάλα κτιριακά Φ/Β συστήματα την τελευταία δεκαετία.



Πολλοί ανεξάρτητοι μετατροπείς Σ.Τ. σε Σ.Τ, καθένας εκ των οποίων εμπεριέχει το δικό του Μ.Ρ.Ρ.Τ.



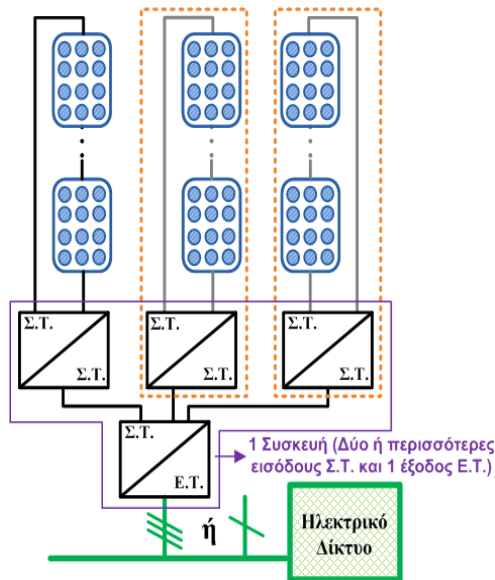
Η είσοδος κάθε μετατροπέα Σ.Τ. συνδέεται με μια ανεξάρτητη "αλυσίδα", ενώ οι έξοδοι τους συνδέονται σε ένα μόνο κεντρικό αντιστροφέα.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ (2)



Δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογης τάξης με αυτή της Κεντριοποιημένης δομής συνδυάζοντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα των συστημάτων τεχνολογίας Αλυσίδα.



Πλεονεκτήματα



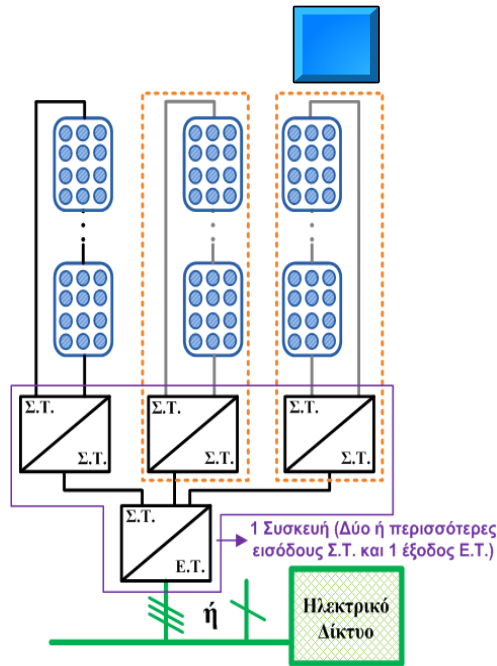
Άρτια συνεργασία μεταξύ ανεξάρτητων αλυσίδων οι οποίες μπορεί να απαρτίζονται τόσο από διαφορετικό αριθμό Φ/Β πλαισίων, όσο και από Φ/Β πλαίσια διαφορετικής τεχνολογίας.



Η παράλληλη λειτουργία αλυσίδων διαφορετικού προσανατολισμού ή με διαφορετικές συνθήκες σκίασης δεν δυσχεραίνουν την παραγωγικότητα του όλου συστήματος. *Κάθε αλυσίδα δουλεύει στο δικό της σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος.*



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ (3)



Η χρησιμοποίηση πολλών ανεξάρτητων αυτοτελών αλυσίδων περιορίζει τον κίνδυνο ολικής διακοπής της ηλεκτροπαραγωγικής διαδικασίας, σε περίπτωση που εμφανιστεί βλάβη σε κάποιες από αυτές.

Μειονεκτήματα

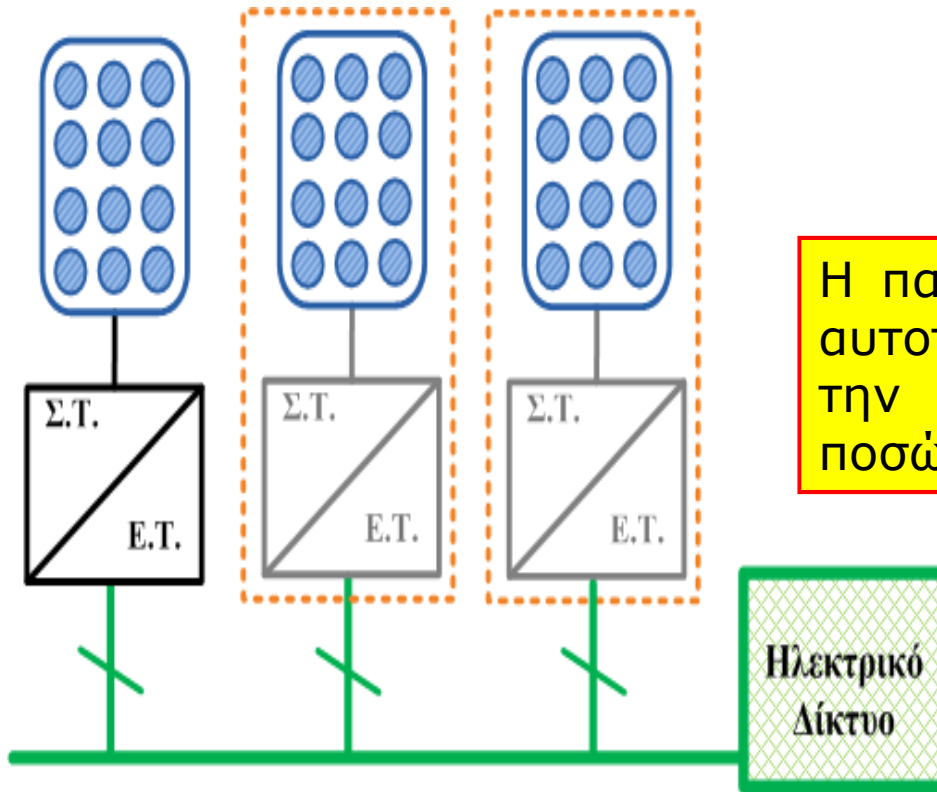
- ➔ Η ύπαρξη ενός μόνο “κεντρικού” αντιστροφέα οδηγεί σε διακοπή της ηλεκτροπαραγωγικής διαδικασίας στην περίπτωση που ο ίδιος παρουσιάσει βλάβη.
- ➔ Πιθανή υψηλή τιμή συνεχούς τάσης μεταξύ του Φ/Β πλέγματος και του αντιστροφέα.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ Ε.Ρ. (1)



Φ/Β διατάξεις μικρής ισχύος (έως 300W), οι οποίες δημιουργούνται από την ενσωμάτωση ενός μόνο Φ/Β πλαισίου και ενός μονοφασικού αντιστροφέα σε μια αυτοτελή ηλεκτρονική διάταξη.



Η παράλληλη λειτουργία πολλών αυτοτελών μονάδων επιτρέπει την παραγωγή μεγαλύτερων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας.





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ Ε.Ρ. (2)



Πλεονεκτήματα

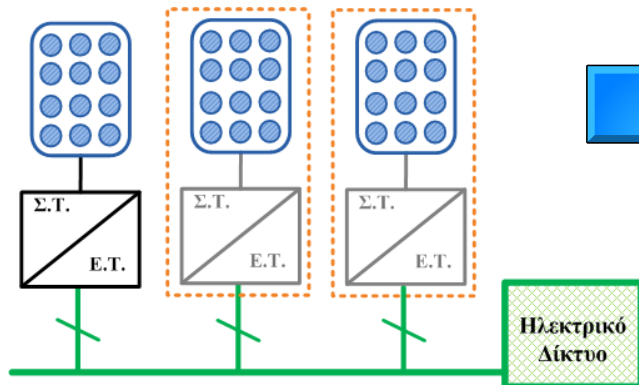
Η σύνδεση ενός μόνο Φ/Β πλαισίου ανά μετατροπέα επιτρέπει το βέλτιστο έλεγχο της φωτογεννήτριας από τον Μ.Ρ.Ρ.Τ., οδηγώντας έτσι σε μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας της κάτω από οποιοσδήποτε περιβαλλοντολογικές συνθήκες.



Δυνατότητα μαζικής παραγωγής.



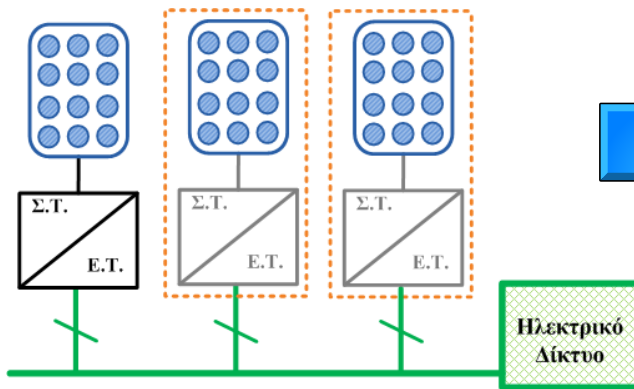
Χαμηλή τιμή τάσης διασύνδεσης πλαισίου-μονοφασικού αντιστροφέα .



Υψηλή αξιοπιστία: ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ολικής απώλειας της ηλεκτροπαραγωγής σε περιπτώσεις προγραμματισμένης συντήρησης ή εμφάνισης βλαβών.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ Ε.Ρ. (3)

- Δημιουργία μικρών και ευέλικτων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, οι οποίες μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν τόσο σε μικρές κατοικίες, όσο και σε μεγάλα εμπορικά ή δημόσια κτίρια.
- Δεν απαιτείται η εφαρμογή ειδικών τεχνικών γειώσεως ούτε η τοποθέτηση ειδικών συστημάτων προστασίας.



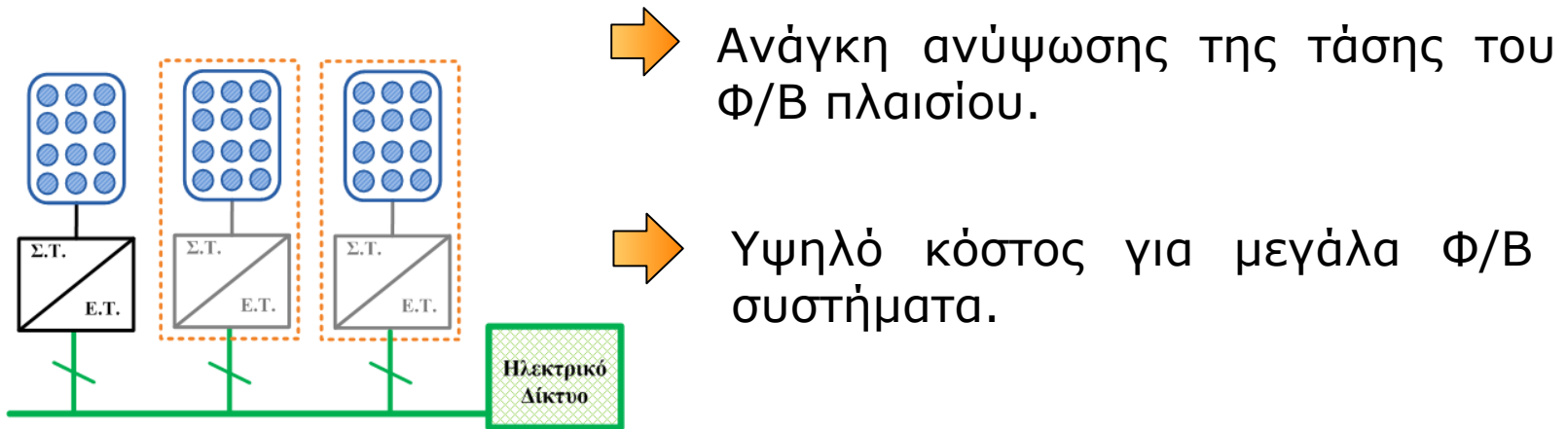
- Προσιτή λύση για το ευρύ κοινό, που δεν έχει ιδιαίτερη εξοικείωση με τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις “plug-and-play device”.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ Ε.Ρ. (4)

Μειονεκτήματα

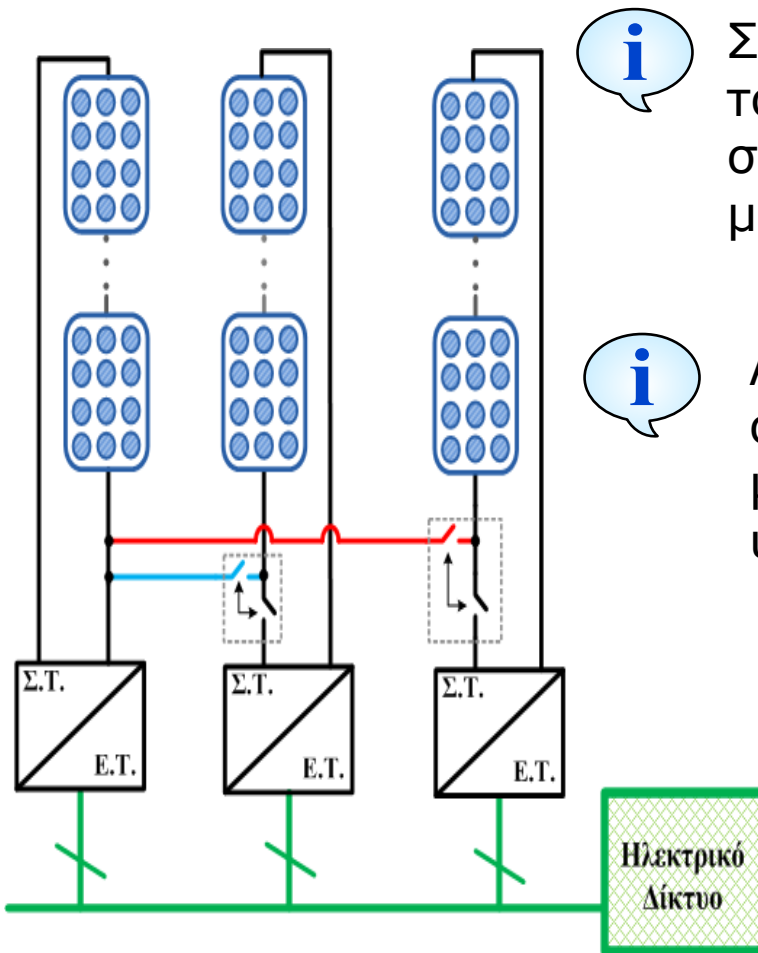
- ➔ Έκθεση του μετατροπέα σε μεγάλες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, γεγονός που μπορεί να επιφέρει μείωση του προσδόκιμου της διάρκεια ζωής του.
- ➔ Θερμική καταπόνηση των Φ/Β πλαισίων.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ ΛΟΓΙΚΗΣ "MASTER" & "SLAVE"



Στόχος: Η λειτουργία των μετατροπέων στο ονομαστικό τους σημείο λειτουργίας.



Σε συνθήκες χαμηλής ακτινοβολίας το σύνολο των Φ/Β πλαισίων συνδέεται μόνο σε ένα ηλεκτρονικό μετατροπέα.



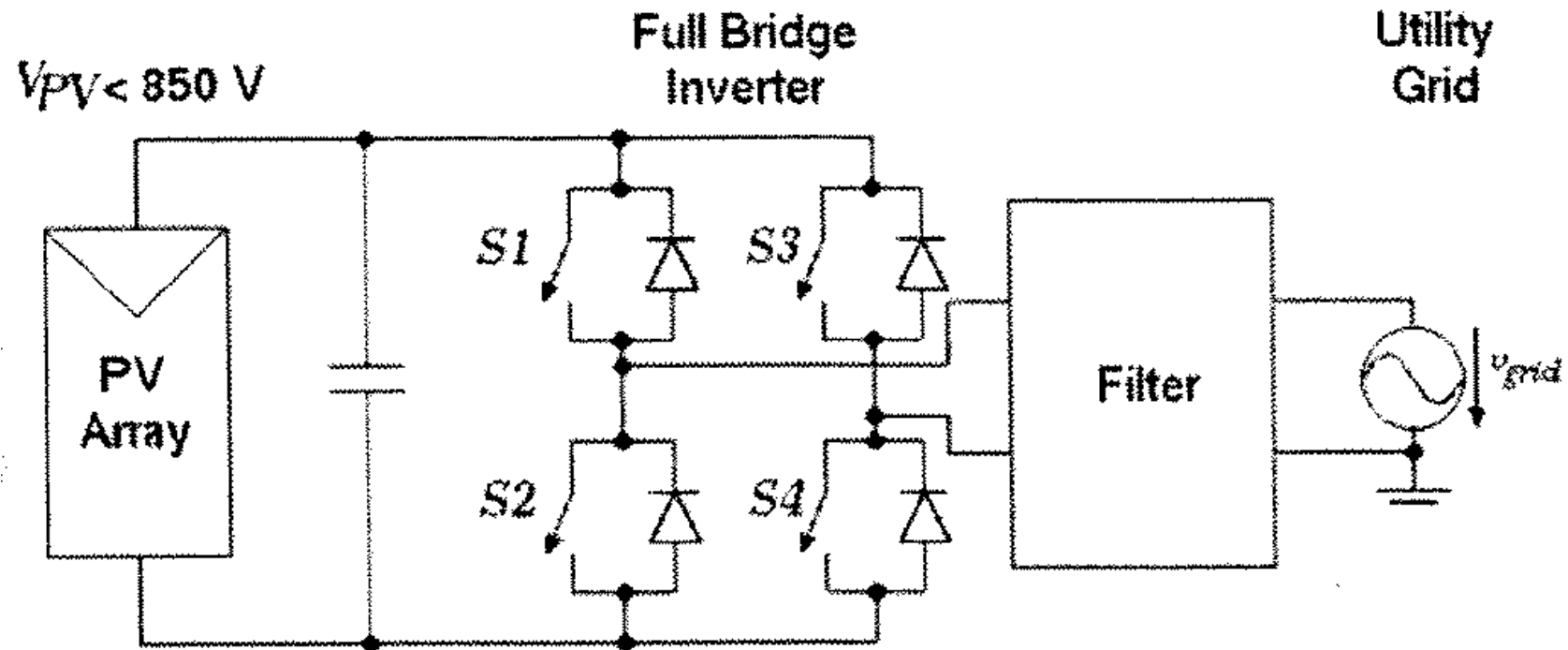
Αυξανόμενης της ηλιοφάνειας το σύνολο των Φ/Β πλαισίων μοιράζεται σταδιακά και στους υπόλοιπους μετατροπέις.



Μειονεκτήματα :
πολύπλοκος σχεδιασμός,
επικοινωνία μεταξύ των
μετατροπέων

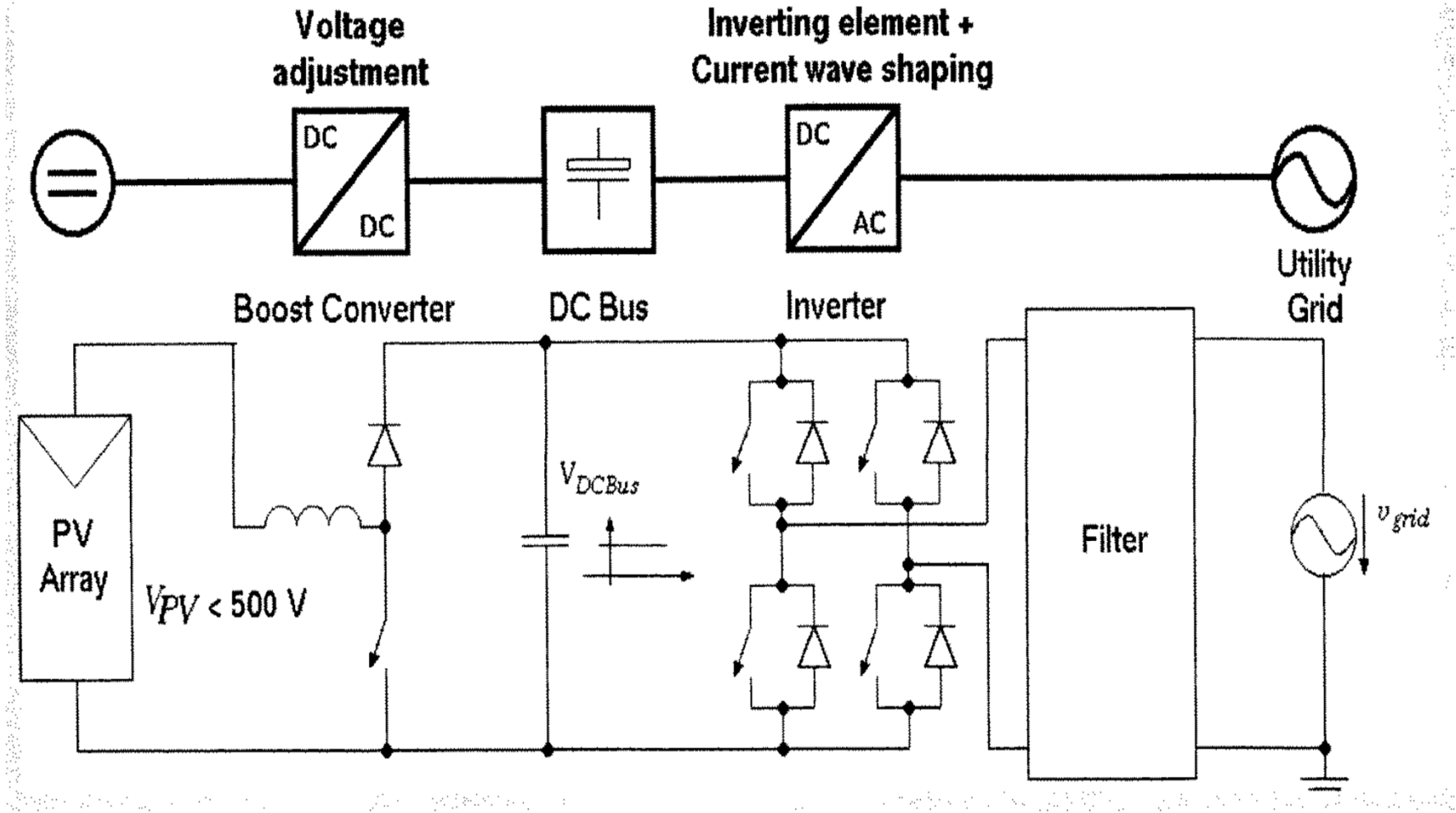


ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ SPWM ΧΩΡΙΣ Μ/Σ ΣΙΔΗΡΟΥ



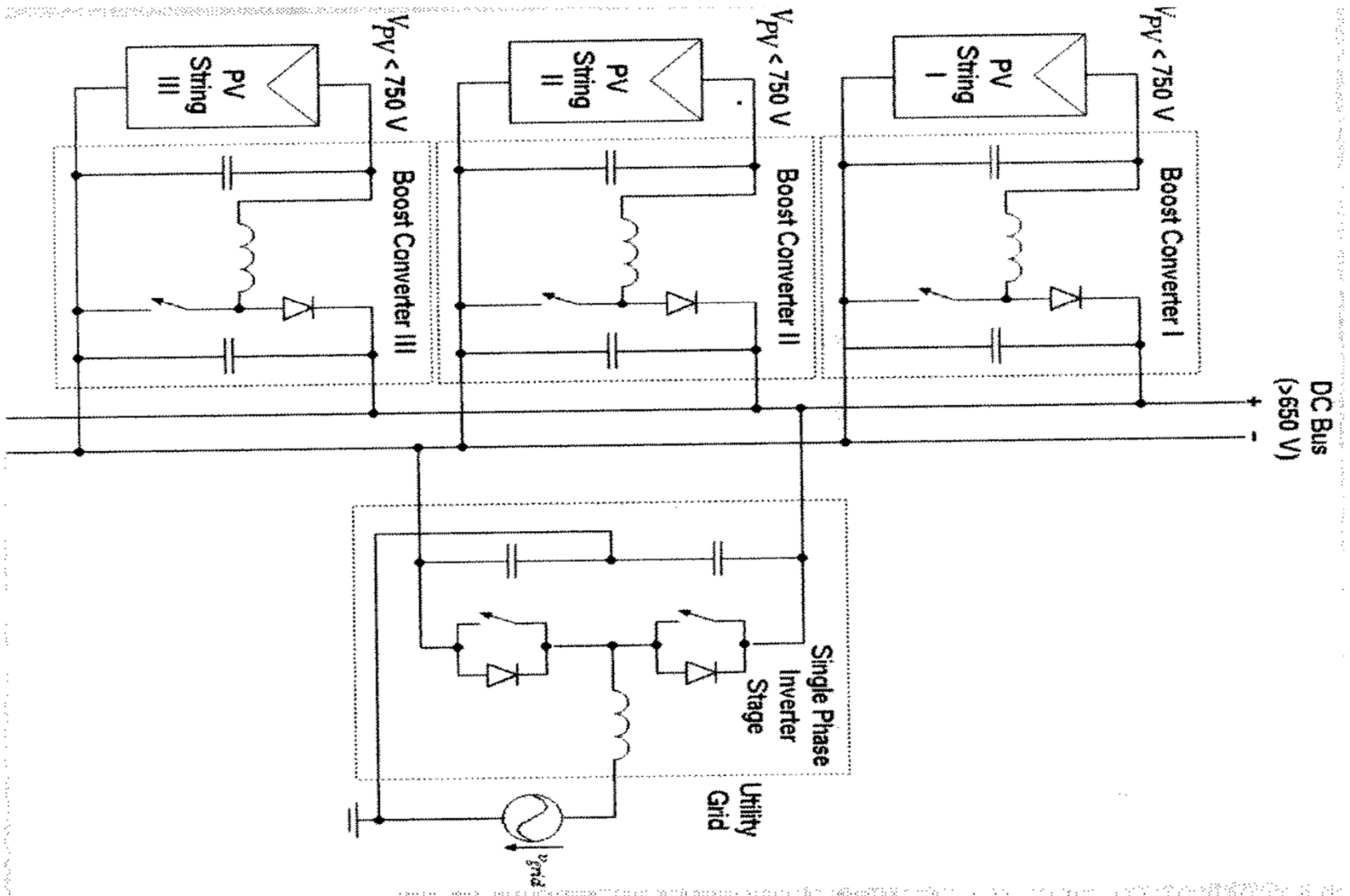
- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κεντροποιημένης τεχνολογίας

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ SPWM ΜΕ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

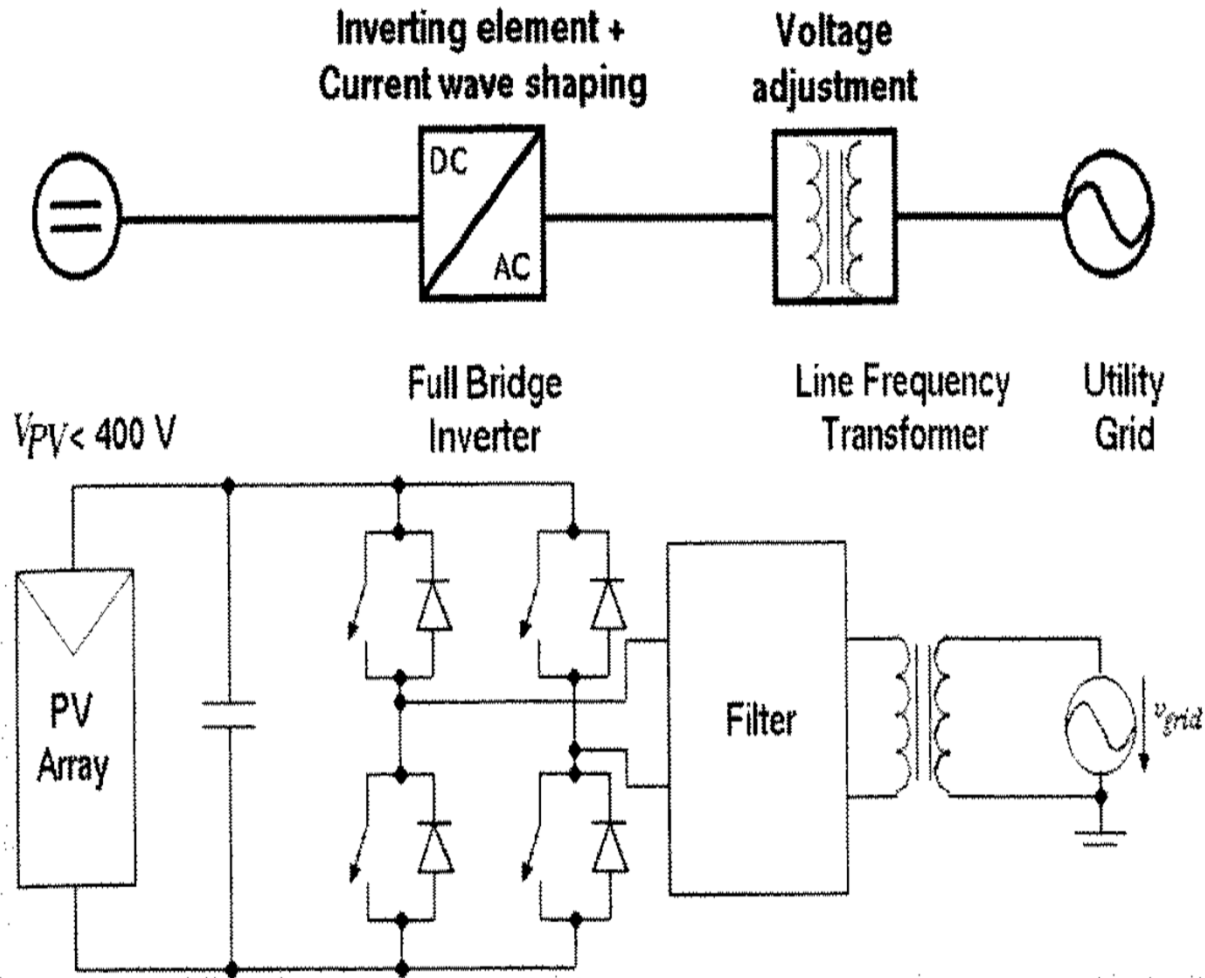


- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές τεχνολογίας πολλαπλών αλυσίδων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ

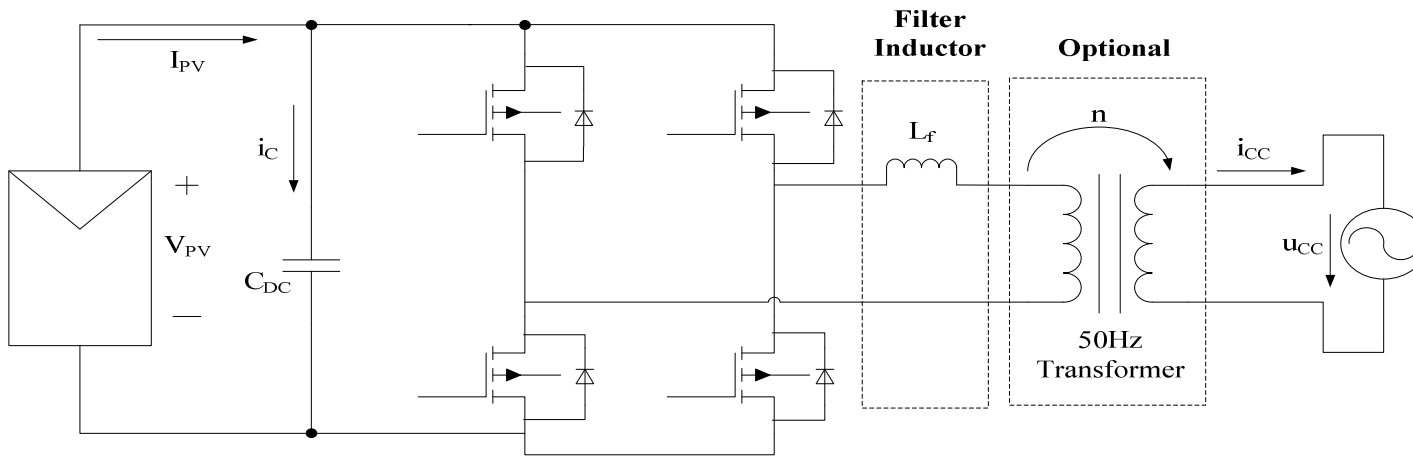


ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ SPWM ΜΕ Μ/Σ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

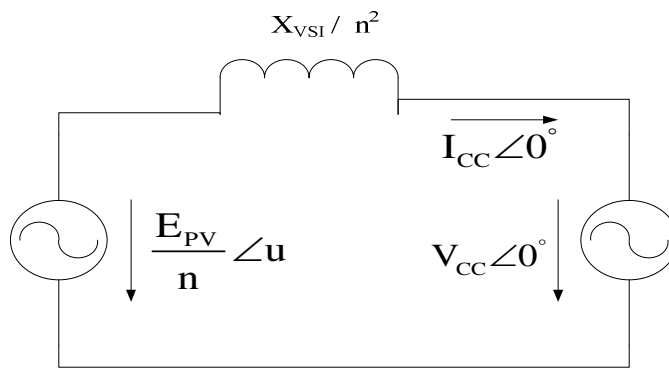


- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές τεχνολογίας αλυσίδας

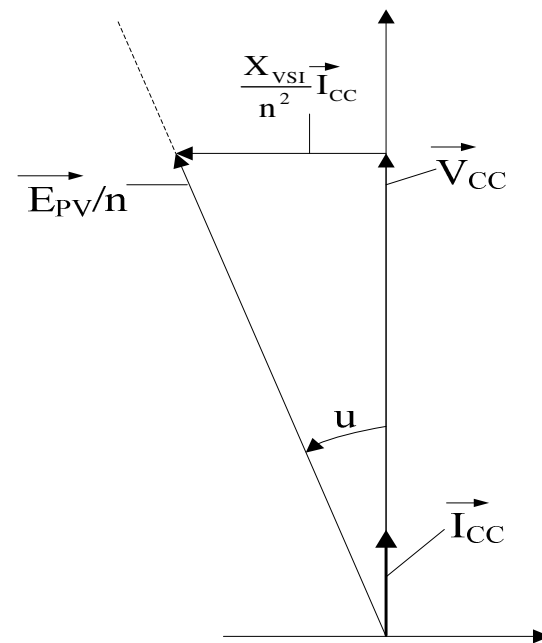
ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ SPWM (1)



(a)

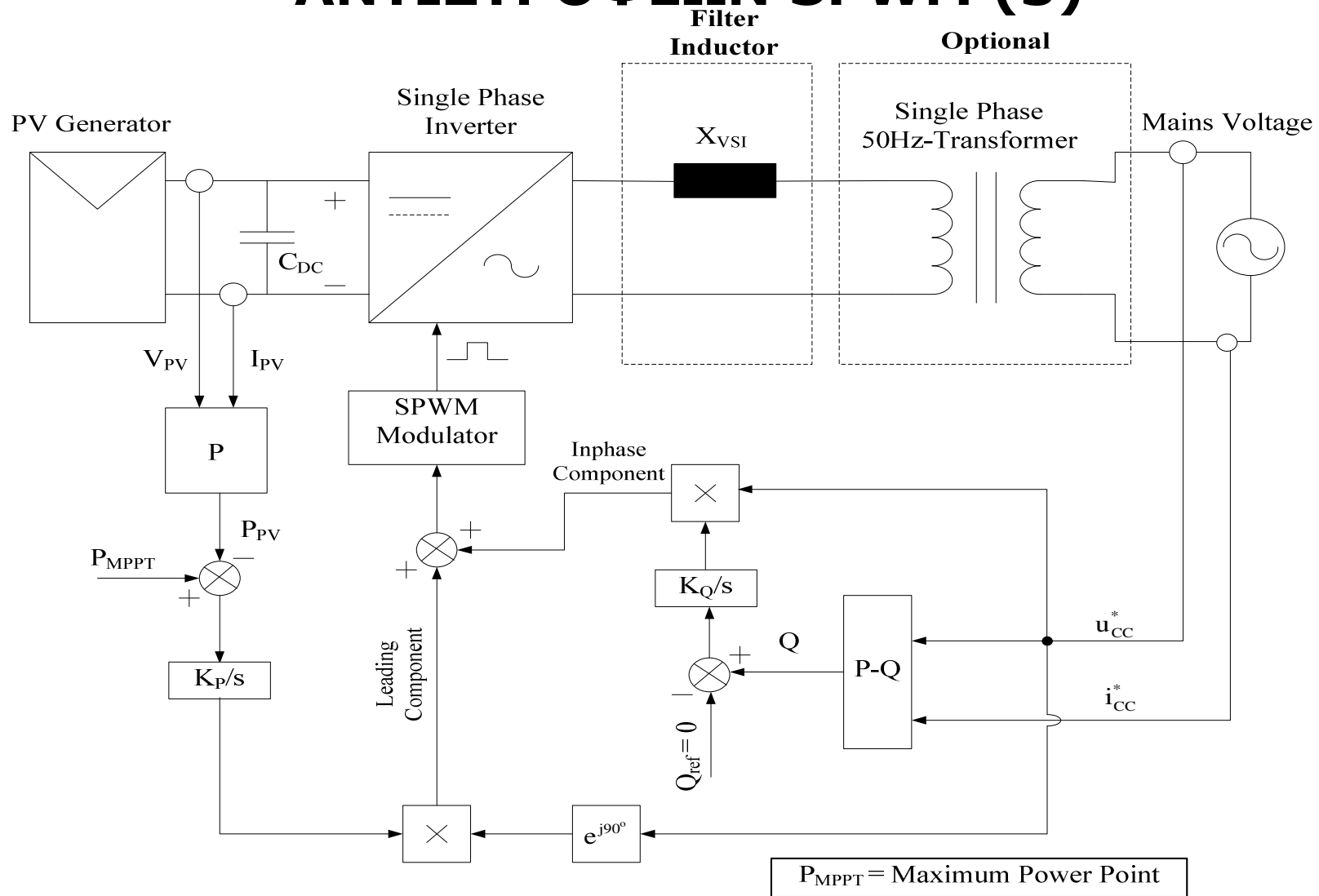


(b)



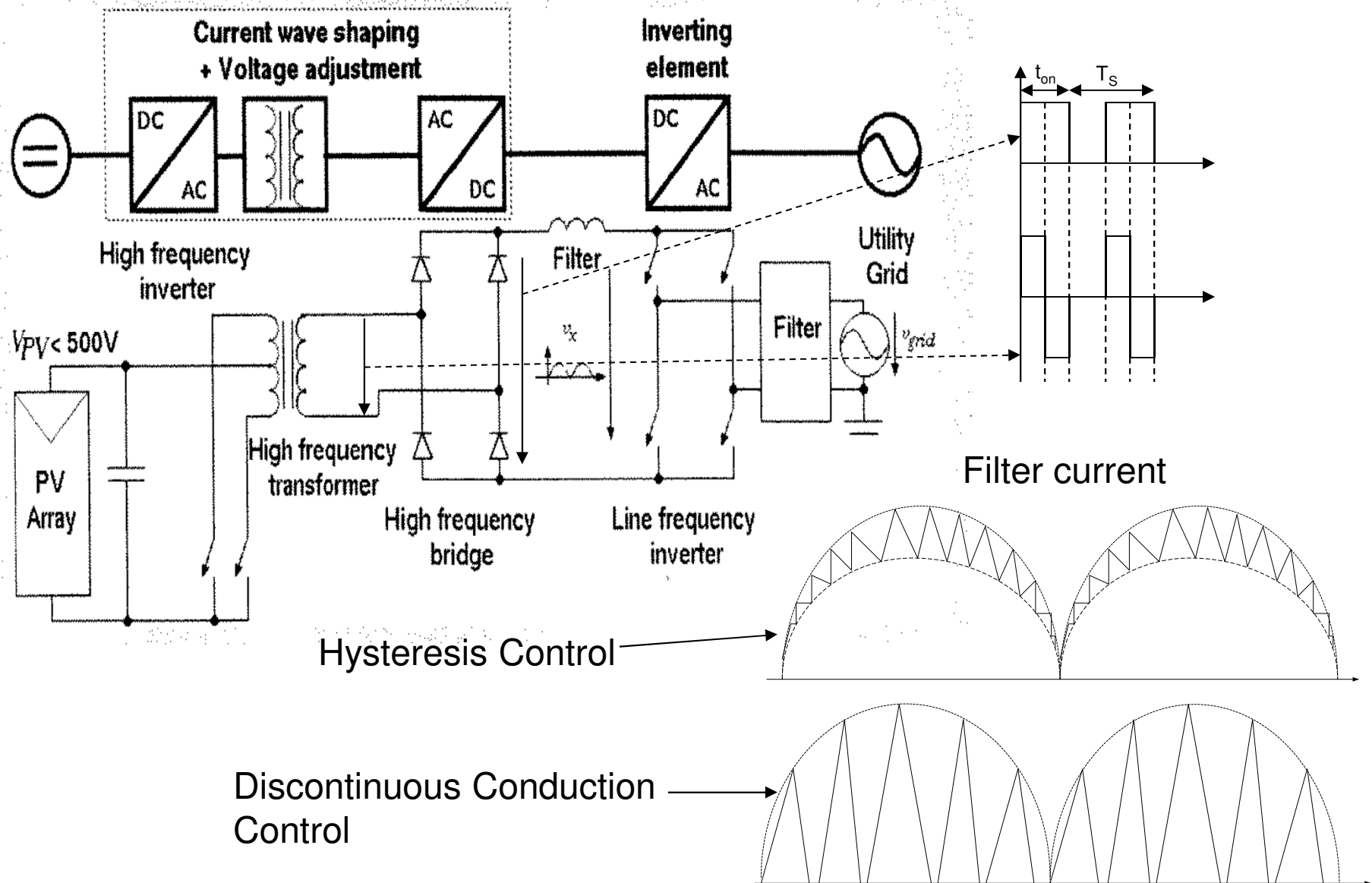
(c)

ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ SPWM (3)

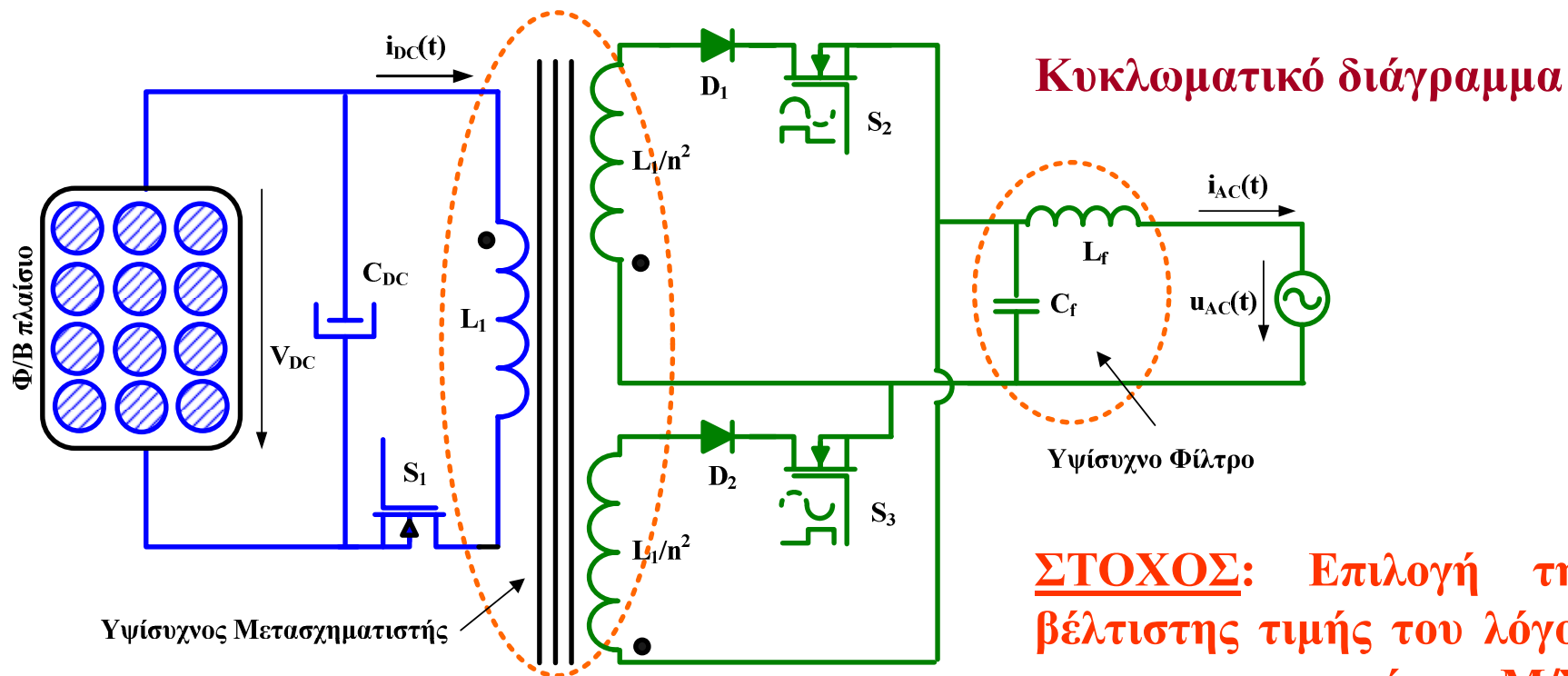


$$E_{PV} = m_a \frac{V_{PV}}{\sqrt{2}}$$

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΜΕ ΥΨΙΣΥΧΝΟ Μ/Σ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



Αντιστροφέας Ρεύματος τοπολογίας Flyback (Flyback Current Source Inverter, CSI-Flyback)



$$i_s(t) = g_s \cdot u_{AC}(t)$$

$$u_{ac}(t) = V_{AC,p} \cdot \sin \omega t$$

$i_s(t)$: είναι η χρονική συνάρτηση της πηγής ρεύματος

$u_{AC}(t)$: η χρονική συνάρτηση της τάσης του δικτύου

$V_{AC,p}$: η μέγιστη τιμή της τάσης του δικτύου

ΣΤΟΧΟΣ: Επιλογή της βέλτιστης τιμής του λόγου μετασχηματισμού του Μ/Σ.

g_s : η αγωγιμότητα της πηγής ρεύματος, δηλαδή του αντιστροφέα, όπως φαίνεται από το δίκτυο

- Χρησιμοποιείται σε AC-PV Modules

Τεχνική Ελέγχου στην περιοχή της ασυνεχούς αγωγής (Discontinuous Conduction Mode, DCM)

Διαμόρφωση των μέγιστων τιμών του διακοπτικού ρεύματος εισόδου σε κάθε διακοπτικό κύκλο, σύμφωνα με την ημιτονοειδή τάση του δικτύου

Λειτουργίας στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής:

$$t_{\text{off}} \leq T_s - t_{\text{on,p}}$$

Ο λόγος κατάτμησης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

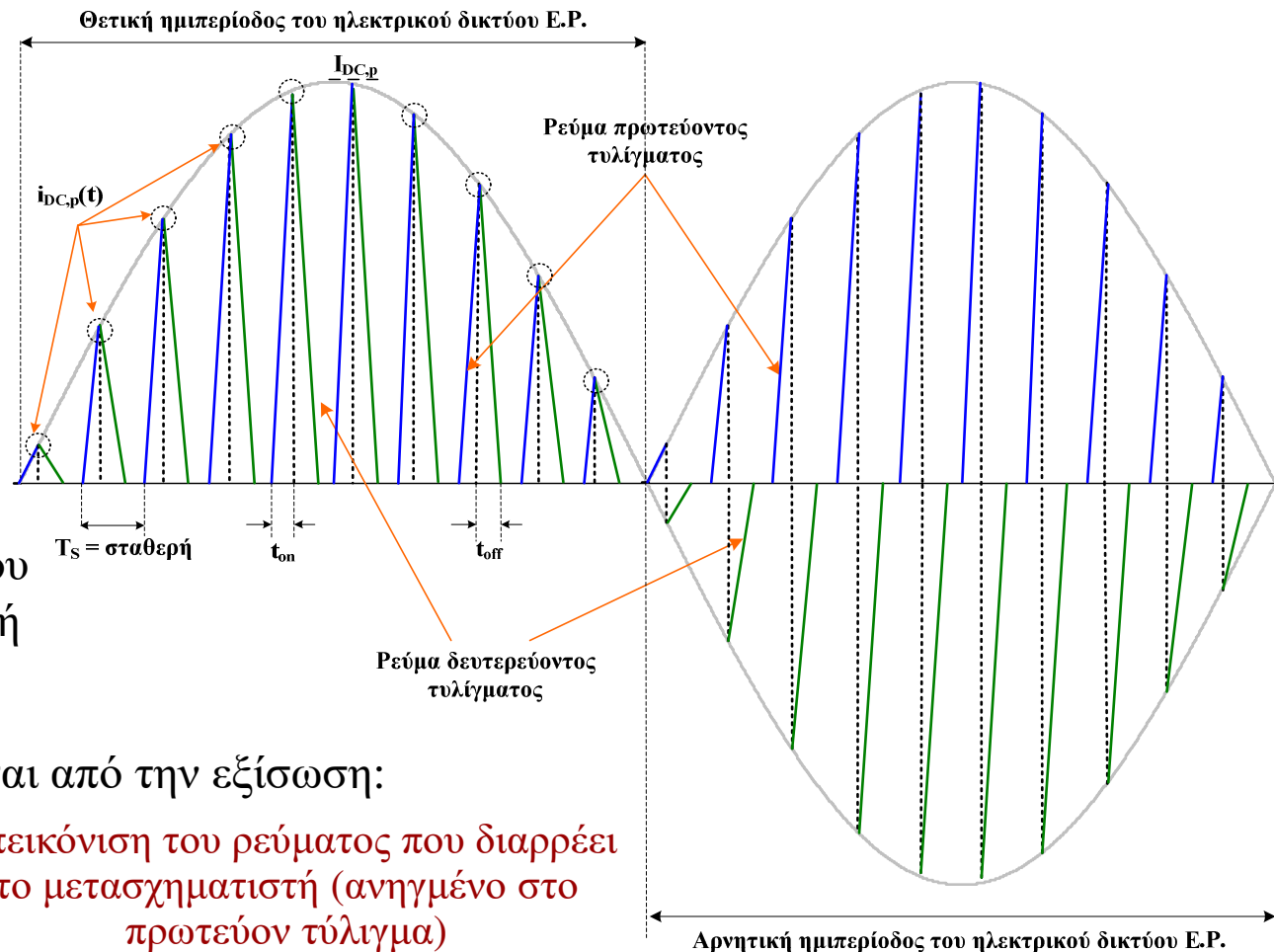
$$d(t) = d_p \sin \omega t$$

όπου: d_p είναι η τιμή του λόγου κατάτμησης τη χρονική στιγμή $\omega t = \pi/2$

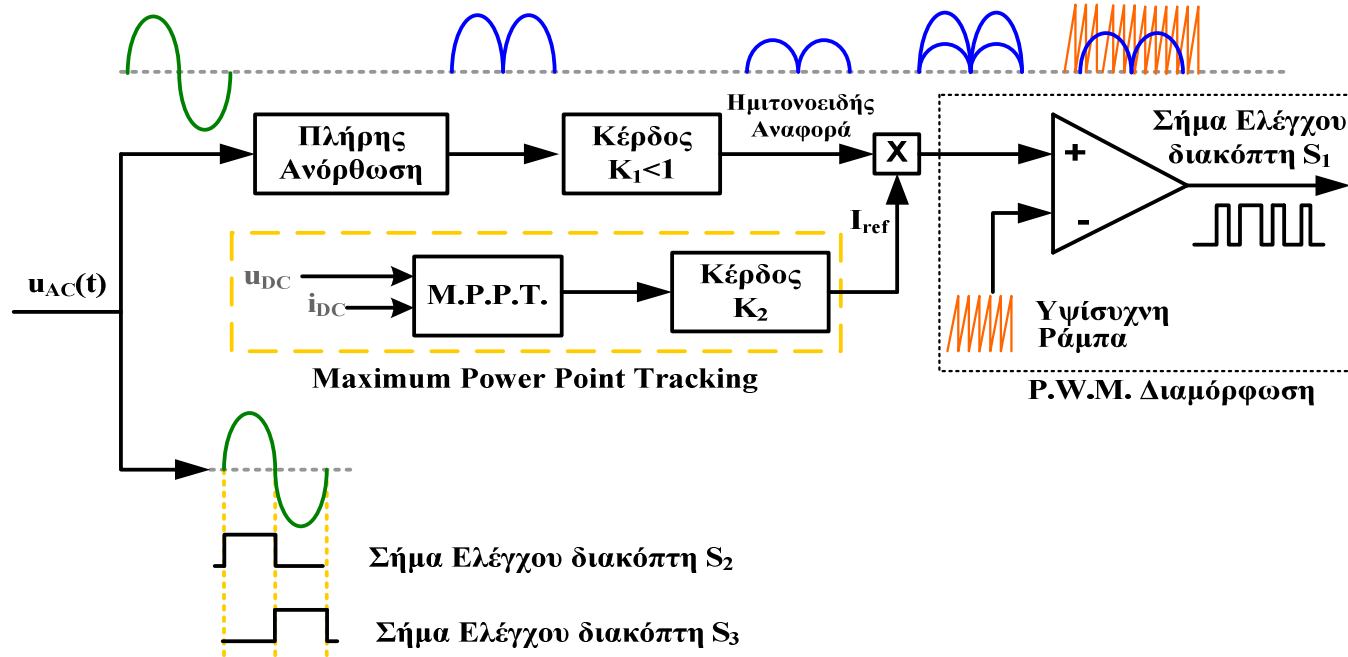
Το t_{off} είναι σταθερό και δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{t_{\text{off}}(t)}{T_s} = \frac{\lambda}{n} d_p$$

Απεικόνιση του ρεύματος που διαρρέει το μετασχηματιστή (ανηγμένο στο πρωτεύον τύλιγμα)



Χονδρικό διάγραμμα ελέγχου των ημιαγωγικών διακοπών S1, S2, S3 για την περίπτωση της ασυνεχούς αγωγής



Κριτήριο για τη διασφάλιση της λειτουργίας του αντιστροφέα στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής

$$d_p \leq \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{n}}$$

όπου: n είναι η τιμή του λόγου μετασχηματισμού, $n = \frac{N_{DC}}{N_{AC}}$
 και $\lambda = \frac{V_{DC}}{V_{Ac,p}}$