

ΕΛΜΕΠΑ Κρήτης
Σχολή Σ.Τ.ΕΦ.
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πτυχιακή Εργασία

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων αντιστροφών τάσης
για ΦΒ εφαρμογές σε κλίμακες από KW έως MW και
στατιστική επεξεργασία.

Σπουδαστής

Επιβλέπων Καθηγητής

Βαρτζής Κωνσταντίνος

Δρ. Μαυροματάκης Φώτιος

A.M. 5019

Χαλκίδα, 2021

Περιεχόμενα

Πρόλογος - Ευχαριστίες	3
Περίληψη - Abstract	4
1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	5
1.1 Εισαγωγή	5
1.2 Παραγωγή ηλεκτρισμού με Φ/Β συστήματα	5
1.2.1 Φωτοβολταϊκές κυψελίδες	5
1.2.2 Το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	10
1.2.3 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών	11
2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ - INVERTERS DC - AC	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Μονοφασικός αντιστροφέας σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας	16
2.3 Μονοφασικός αντιστροφέας γέφυρας	20
2.4 Τριφασικός αντιστροφέας με πηγή τάσης	24
2.5 Αντιστροφείς τάσης πολλαπλών επιπέδων	28
2.5.1 Αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων με διόδους περιορισμού	29
2.5.2 Αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων με αιωρούμενους πυκνωτές	34
2.5.3 Αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων που αποτελούνται από επιμέρους 1-φασικούς αντιστροφείς συνδεδεμένους σε σειρά με τροφοδοσία διακριτών πηγών τάσης	36
2.6 Αντιστροφείς με πηγή ρεύματος	38
3. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	44
4. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	56
4.1 Γενικά	56
4.2 Μοντέλα της KOSTAL Solar Electric	59
4.3 Μοντέλα της FRONIUS	67
4.4 Μοντέλα της KACO	72
4.5 Μοντέλα της SMA Solar Technology	74
5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	85
6. ΠΕΡΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	112
6.1 Γενικά	112
6.2 Οι μεταβλητές $X=\max \text{ input current}$, $Y=\text{DC Power}$	114
6.3 Οι μεταβλητές $X=(\max \text{ input current}) * (\max \text{ input voltage})$, $Y=\max \text{ DC Power}$	120
6.4 Οι μεταβλητές $X=(\max \text{ input voltage}) * (\min \text{ input voltage})$, $Y=\max \text{ DC Power}$	123
6.5 Οι μεταβλητές $X=(\max \text{ input voltage} + \min \text{ input voltage})/2$, $Y=\max \text{ DC Power}$	129
ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της σχετικής υποχρέωσης κατά την αποφοίτηση των σπουδαστών των Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν αναλυτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β Συστημάτων και των Inverters, καθώς και η στατιστική επεξεργασία συστημάτων από μια βάση δεδομένων που δημιουργήσαμε.

Από τη θέση αυτή θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Μαυροματάκη Φ. για την ανάθεση της παρούσης Πτυχιακής Εργασίας και για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της, καθώς και τους γονείς μου για τη στήριξή τους σε αυτή μου την προσπάθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία είναι χωρισμένη σε έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται γενικά στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται συγκεκριμένα στους αντιστροφείς, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ζητήματα σχετικά με την ορολογία. Στο τέταρτο κεφάλαιο εκθέτονται κάποια διαγράμματα σχετικά με τις καμπύλες βαθμού απόδοσης για συστήματα από τη βάση δεδομένων μας. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία και διαγράμματα που σχετίζονται με το συνοδευτικό αρχείο EXCEL. Την εργασία ολοκληρώνει ένα κεφάλαιο που αφορά συσχετισμένες μεταβλητές.

ABSTRACT

Six chapters constitute the present thesis. The first one is about the photovoltaic systems. The second chapter is referred particularly on the inverters, while in the third chapter some terminology issues are presented. In the fourth chapter some diagrams are exposed related with the efficiency curves of the systems from our data base. The fifth chapter contains diagrams and statistics connected with the accompanying EXCEL file. The thesis concludes with a last chapter about correlated variables.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα και ο φόβος για την εξάντληση των συμβατικών αποθεμάτων ενέργειας οδήγησε τα τελευταία χρόνια στη συστηματική αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτά τα πλαίσια, τα τελευταία είκοσι χρόνια καταγράφεται μια έντονη προσπάθεια αξιοποίησης της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας για άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Για το σκοπό αυτό έχουν δοθεί τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από τη χώρα μας ιδιαίτερα ελκυστικά χρηματοοικονομικά κίνητρα, τα οποία περιλαμβάνουν επιδότηση του κόστους αρχικής εγκατάστασης καθώς και εγγυημένη αγορά της ενεργειακής παραγωγής σε προνομιακές τιμές.

1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.2.1 Φωτοβολταϊκές κυψελίδες

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες (ή *φωτοβολταϊκά στοιχεία*) μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν το «στοιχειώδες μέσον» μετατροπής, άμεσα, της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των

Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα.

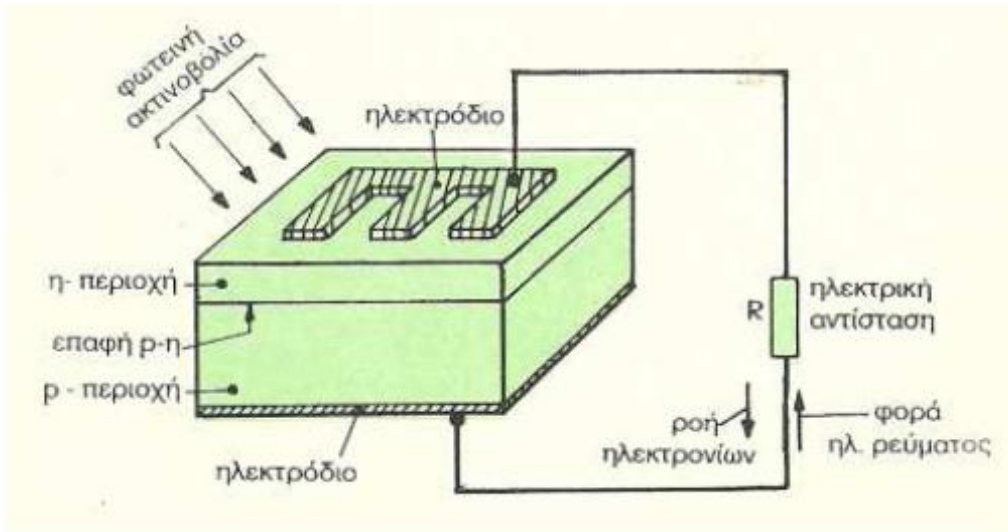
Η ηλεκτρική ισχύς που παρέχει κάθε ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό στοιχείο, εκτιθέμενο πλήρως στην ηλιακή ακτινοβολία, είναι της τάξεως μερικών εκατοντάδων mWatt, υπό τάση (για τις κυψελίδες πυριτίου) 0.4-0.8 Volts. Η ισχύς αυτή είναι πάρα πολύ μικρή για οποιαδήποτε πρακτική χρήση και γι' αυτό το λόγο προς επίτευξη πρακτικού αποτελέσματος, καταφεύγουμε στο να συνδέσουμε μεταξύ τους κατάλληλα, πλήθος φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Το σύνολο που εν τέλει προκύπτει λέγεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Solar Panel) και έχει την ικανότητα να παράσχει ηλεκτρική ισχύ, άμεσα αξιοποιήσιμη.

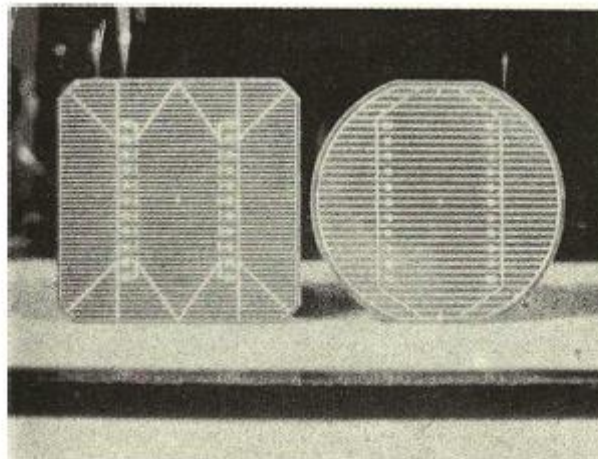
Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160 mm.

Αποτελείται από δυο στρώματα με υλικό κατασκευής που ανήκει στους ημιαγωγούς, (στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται περισσότερο στοιχεία βασισμένα στο πυρίτιο, Si) τα οποία είναι ενωμένα μεταξύ τους. Το ένα στρώμα έχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων και χαρακτηρίζεται ως ημιαγωγός n-τύπου, ενώ το άλλο έχει έλλειψη ελευθέρων ηλεκτρονίων και χαρακτηρίζεται ως ημιαγωγός p-τύπου.

Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται σχηματικά το φωτοβολταϊκό στοιχείο, ενώ στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η πραγματική μορφή του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού στοιχείου



σχήμα 1.2 Πραγματική μορφή του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα δύο στρώματα μαζί έχουν πάχος της τάξης του $1/4$ του mm. Το στρώμα n -τύπου έχει πάχος μόνο μερικών χιλιοστών του mm και καλύπτει την μεριά του φωτοστοιχείου, που εκτίθεται στον ήλιο. Εξωτερικά των δύο στρωμάτων έχουν προσαρμοσθεί κατάλληλα μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Στα σημεία επαφής των δύο στρωμάτων του ημιαγωγίμου υλικού δημιουργείται μια περιοχή στατικού ηλεκτρικού φορτίου. που έχει πάχος της τάξης μερικών ατόμων. Η περιοχή αυτή ονομάζεται φραγμός (ή επαφή p-n) γιατί παρουσιάζει επιλεκτική αντίσταση στη δίοδο των ηλεκτρονίων. Στις ιδιότητες του φραγμού οφείλεται η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όταν πέσει στην εξωτερική επιφάνεια του n - στρώματος φωτεινή ακτινοβολία, τότε - λόγω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου - διεγείρονται, από προσπίπτοντα φωτόνια τα άτομα του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στο υλικό n - τύπου πολλά περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η συσσώρευση των ηλεκτρονίων στην πλευρά του n - στρώματος προκαλεί - μεταξύ του n - στρώματος και του p - στρώματος μια διαφορά δυναμικού (τάση), καθώς τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια - απωθούμενα μεταξύ τους - πιέζουν για να μετακινηθούν, αλλά εμποδίζονται από τον φραγμό.

Αν συνδεθούν εξωτερικά τα δύο ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου με έναν αγωγό (σύρμα) τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ηλεκτρόνια δηλαδή της n - περιοχής διατρέχουν τον αγωγό και φθάνουν στην p - περιοχή του ημιαγωγού. Από εκεί περνούν εύκολα τον φραγμό και επιστρέφουν στην n - περιοχή για να επαναλάβουν τον κύκλο.

Η κατασκευή του Φ/Β στοιχείου συμπληρώνεται με την επικάλυψή του με ειδικό αντιανακλαστικό υλικό (συνήθως SiO_2 ή Al_2O_3) που

περιορίζει την ανάκλαση και βοηθά στην είσοδο όσο το δυνατόν περισσότερης φωτεινης ακτινοβολίας.

Η διαφορά δυναμικού (τάση) που αναπτύσσεται στο Φ/Β στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 0,5 V (Volt). Η ένταση του ρεύματος που μπορεί να δώσει, εξαρτάται από το εμβαδόν του στοιχείου και την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας. Προκειμένου να επιτύχουμε μεγαλύτερες τάσεις και εντάσεις για τις διάφορες εφαρμογές συνδέουμε πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία (όπως αναφέραμε παραπάνω) σε ένα πλαίσιο. Τα στοιχεία τοποθετούνται σε μια πλαστική βάση και συνδέονται μεταξύ τους με σύρματα ή λεπτές μεταλλικές ταινίες.

Στη συνέχεια καλύπτονται με μια πλάκα από γυαλί ή διαφανές πλαστικό υλικό ώστε να προστατεύονται από την υγρασία (σχήμα 1.3).



σχήμα 1.3 Τυπικό φωτοβολταϊκό panel

Ο βαθμός απόδοσης των Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου φθάνει σήμερα το 21%.

1.2.2 Το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

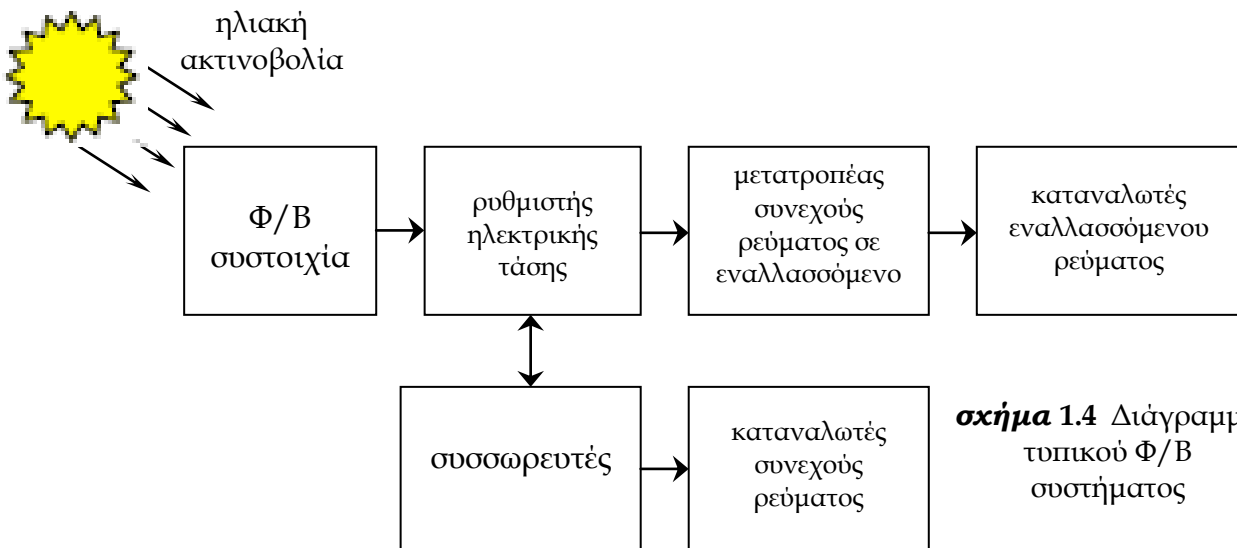
Ένα Φ/Β σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού αποτελείται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία και άλλες διατάξεις που διασφαλίζουν την σωστή και χωρίς διακοπές ηλεκτροδότηση των καταναλωτών.

Στις περισσότερες εφαρμογές τα Φ/Β συστήματα περιλαμβάνουν και συσσωρευτές (μπαταρίες) για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να διατηρείται η συνέχεια της τροφοδότησης, όταν διακόπτεται η ηλιακή ακτινοβολία.

Στις περιπτώσεις, αυτές συνήθως παρεμβάλλεται και ρυθμιστής τάσης για την καλή λειτουργία των συσσωρευτών.

Αν πρόκειται να ηλεκτροδοτηθούν καταναλωτές που διαθέτουν συσκευές, οι οποίες λειτουργούν μόνο με εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε, πρέπει να γίνει μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, με ειδικούς ηλεκτρονικούς μετατροπείς.

Ένα τυπικό αυτόνομο Φ/Β σύστημα, κατάλληλο για την τροφοδότηση απομονωμένων καταναλωτών, περιλαμβάνει τα μέρη που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



σχήμα 1.4 Διάγραμμα τυπικού Φ/Β συστήματος

Ανάλογα με τις εφαρμογές το προηγούμενο διάγραμμα μπορεί να γίνει πιο απλό (π. χ. όταν υπάρχουν καταναλωτές μόνο συνεχούς ρεύματος) ή πιο σύνθετο με την προσθήκη βοηθητικού ζεύγους μηχανής ντήζελ - ηλεκτρογεννήτριας (ή και ανεμογεννήτριας). Η βοηθητική ηλεκτρογεννήτρια εξασφαλίζει την ηλεκτρική παροχή, όταν και η αποθηκευμένη στις μπαταρίες ενέργεια δεν επαρκεί. Υπάρχουν ακόμη και Φ/Β συστήματα που λειτουργούν παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο, συμπληρώνοντας από αυτό την ηλεκτρική ενέργεια, όταν δεν είναι αρκετή.

1.2.3 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών

Ανάλογα με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

- **Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα.** Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφόσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα

υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο

και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.

• **Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.** Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.

• **Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.** Αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μια γεννήτρια πετρελαίου, ή άλλη μορφή, όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ – INVERTERS DC - AC

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αντιστροφείς είναι ένα είδος μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μια πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογές στις εξής περιοχές:

- Συστήματα ελέγχου εναλλασσόμενων ηλεκτρικών μηχανών,
- Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας,
- Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ),
- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου,
- Ενεργά φίλτρα για μείωση αρμονικών για την καλυτέρευση της ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας,
- Ενεργά συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος,
- Συστήματα Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος (Uninterruptible Power Supplies, UPS).

Οι αντιστροφείς μπορούν να διαιρεθούν κυρίως σε δύο κατηγορίες

α) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης και,

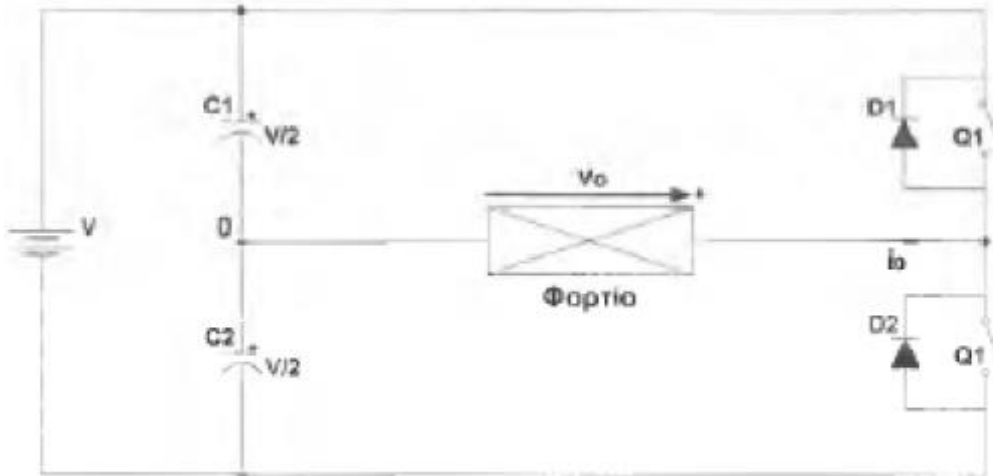
β) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος.

Επίσης, οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν:

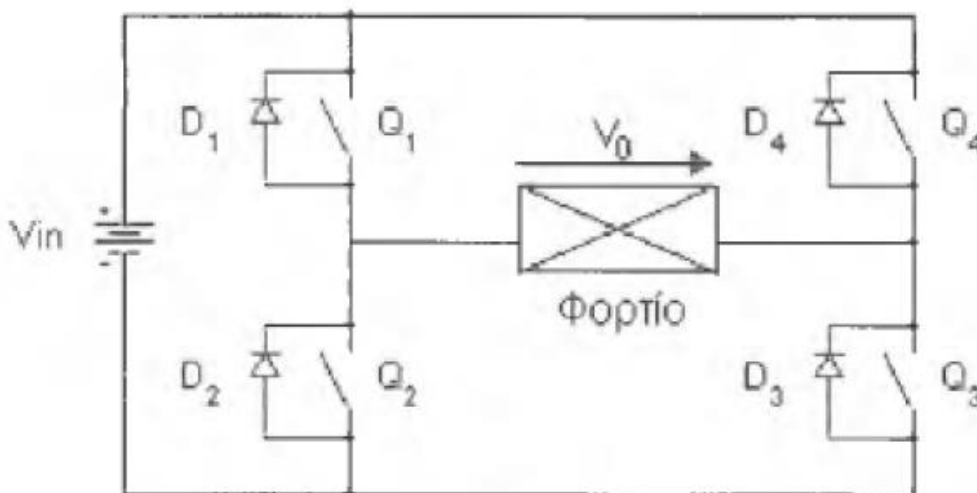
α) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας,

β) Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας και

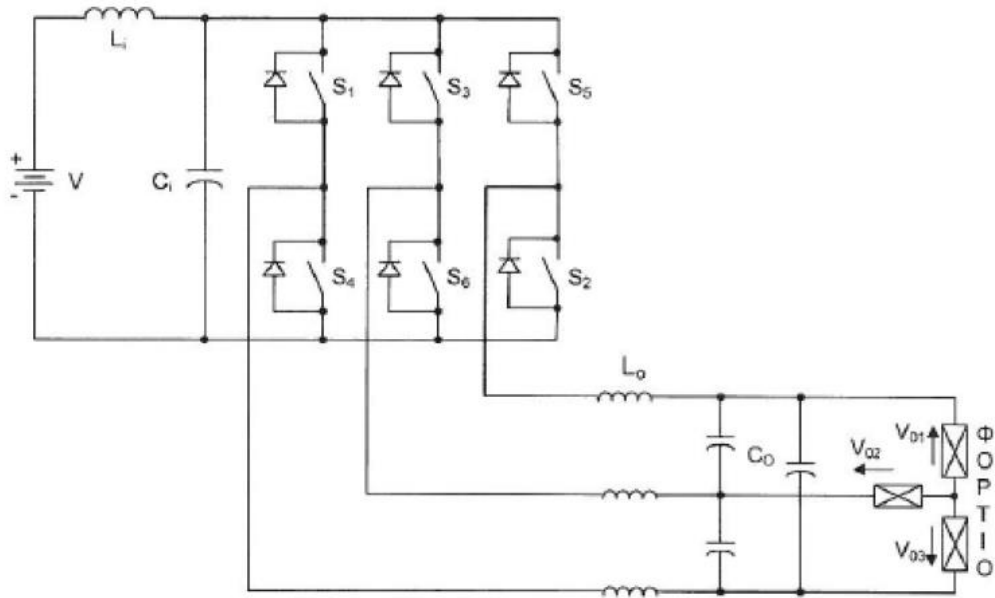
γ) Στους τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.
Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι αντιστροφέων, που χρησιμοποιούνται σήμερα στις εφαρμογές και που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



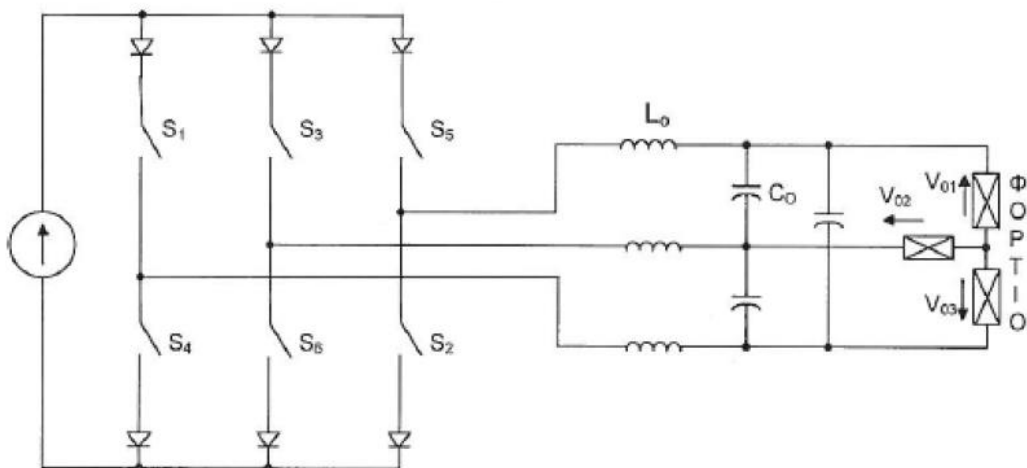
σχήμα 2.1(α) Αντιστροφέας ημιγέφυρας



σχήμα 2.1(β) Αντιστροφέας γέφυρας



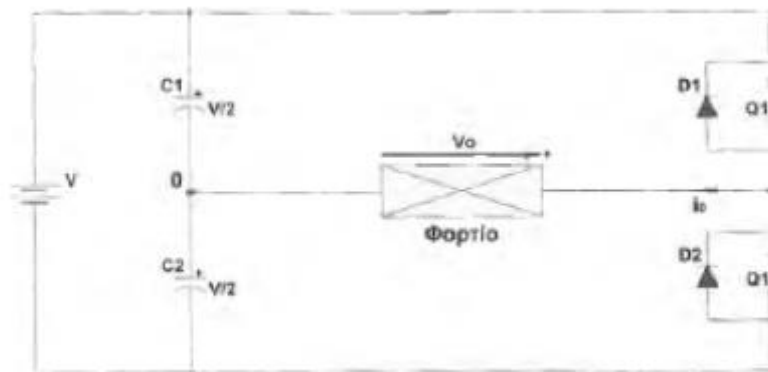
σχήμα 2.1(γ) 3/Φ αντιστροφείας ημιγέφυρας



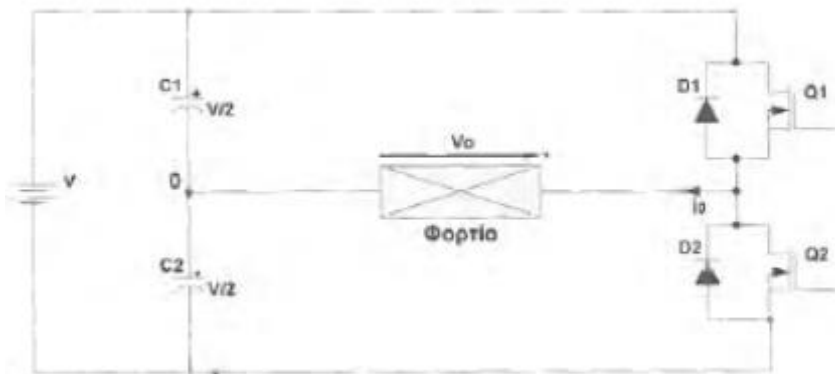
σχήμα 2.1(δ) 3/Φ αντιστροφείας με τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος

2.2 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΜΙΓΕΦΥΡΑΣ

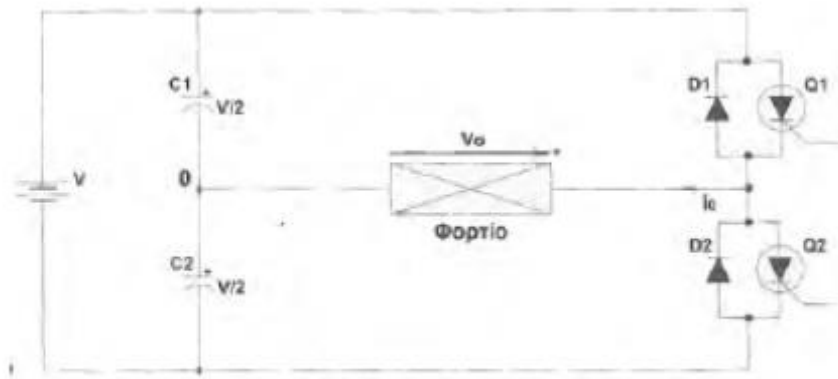
Στο σχήμα 2.2(α) παρουσιάζεται ένας μονοφασικός αντιστροφέας σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας, όπου ως ημιαγωγά στοιχεία για την υλοποίηση των διακοπών Q_1 και Q_2 μπορεί να χρησιμοποιηθούν τρανζίστορ, MOSFETs, IGBTs, θυρίστορ, GTOs ή κάποιος άλλος ημιαγωγός ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ εξόδου.



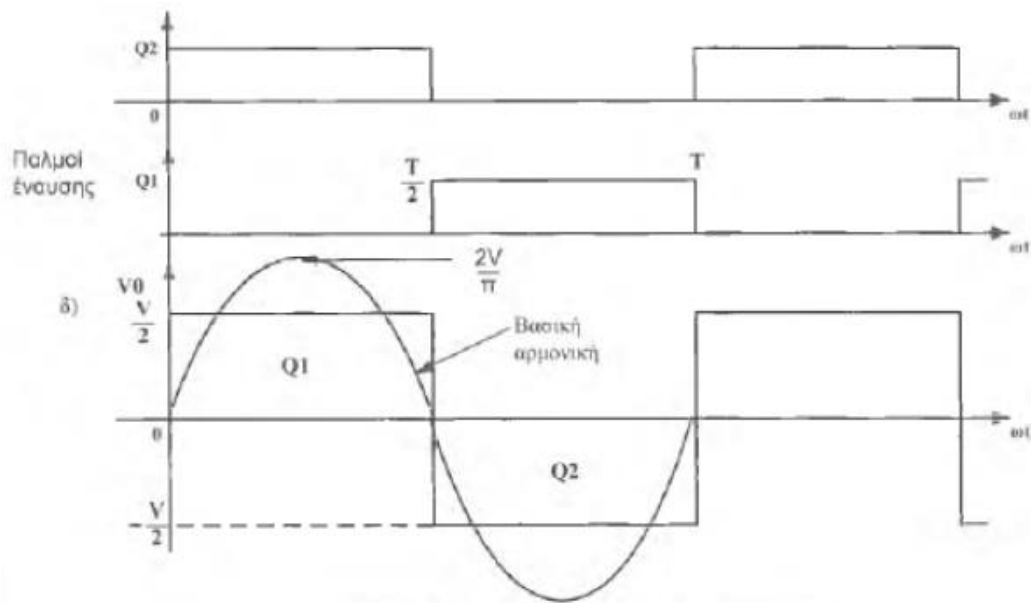
σχήμα 2.2(α) Αντιστροφέας ημιγέφυρας. Συνδεσμολογία



σχήμα 2.2(β) Αντιστροφέας ημιγέφυρας με MOSFETs



σχήμα 2.2(γ) Αντιστροφέας ημιγέφυρας με θυρίστορ



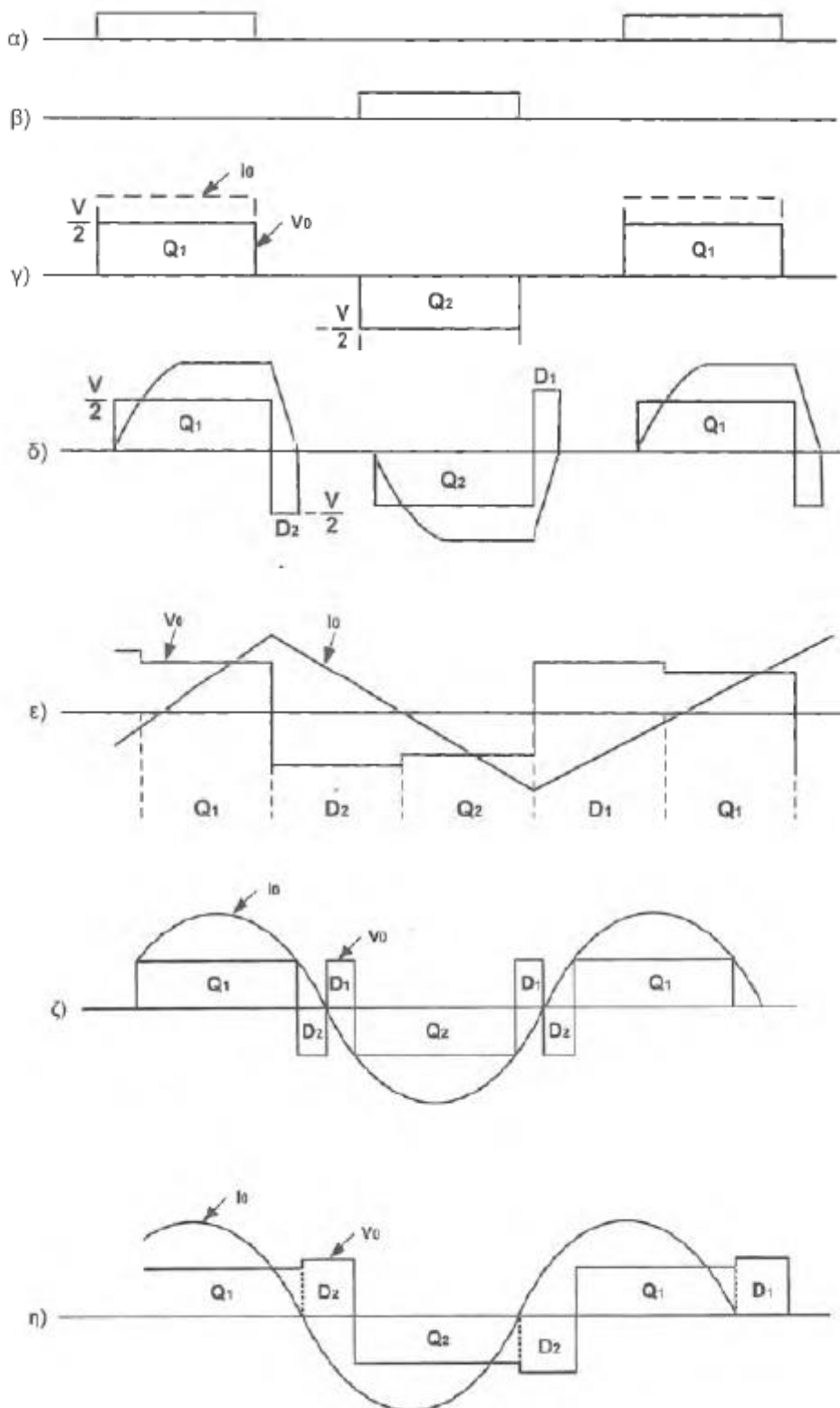
σχήμα 2.2(δ) Αντιστροφέας ημιγέφυρας. Παλμοί έναυσης των Q_1 , Q_2 και τάση εξόδου του αντιστροφέα με ωμικό φορτίο.

Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 2.2δ η τάση εξόδου v_0 είναι ένας τετραγωνικός παλμός δύο καταστάσεων (δηλαδή έχει θετικές ή αρνητικές τιμές) του οποίου το πλάτος είναι $\pm V/2$. Ο έλεγχος της τάσης

εξόδου μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση των χρονικών διαστημάτων αγωγής των διακοπών Q_1 και Q_2 μέσω των παλμών έναυσής των. Όταν η τάση εξόδου πρέπει να αυξηθεί, τότε τα χρονικά διαστήματα αγωγής των Q_1 και Q_2 πρέπει να αυξηθούν. Όταν όμως η τάση εξόδου πρέπει να ελαττωθεί, τότε τα χρονικά διαστήματα αγωγής των Q_1 και Q_2 πρέπει να ελαττωθούν. Επομένως αυξομειώνοντας τα χρονικά διαστήματα αγωγής των διακοπών Q_1 και Q_2 , η τάση εξόδου v_0 μπορεί να παραμένει σταθερή στις διάφορες διακυμάνσεις της πηγής εισόδου.

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι κυματομορφές εξόδου του αντιστροφέα ημιγέφυρας για διάφορα φορτία. Για ωμικό φορτίο, όταν και οι δύο διακόπτες είναι σε κατάσταση αποκοπής, η τάση εξόδου έχει μηδενική τιμή (Σχήμα 2.3γ). Για

επαγωγικό φορτίο όταν και οι δύο διακόπτες είναι σε κατάσταση αποκοπής, το ρεύμα φορτίου εξακολουθεί να κυκλοφορεί για ένα χρονικό διάστημα μέσω των διόδων D_1 ή D_2 , του φορτίου και των πυκνωτών εισόδου. Οι διάοδοι D_1 και D_2 ονομάζονται διάοδοι ελεύθερης διέλευσης και χρησιμοποιούνται για την διέλευση του ρεύματος εξόδου, όταν οι διακόπτες Q_1 και Q_2 είναι σε κατάσταση αποκοπής. Επομένως, για επαγωγικό φορτίο, όταν οι διακόπτες Q_1 και Q_2 είναι σε κατάσταση αποκοπής, η διάοδος D_1 ή D_2 άγει ανάλογα με τη φορά του ρεύματος εξόδου και έτσι η τάση εξόδου δεν παρουσιάζει μηδενικές τιμές όπως στην περίπτωση με ωμικό φορτίο. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ο κύκλος γύρω από τα θυρίστορ του σχήματος 2.2γ σημαίνει ότι στο κύκλωμα αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται τα βοηθητικά κυκλώματα για τη σβέση των θυρίστορ.



σχήμα 2.3 Κυματομορφές αντιστροφέα του σχήματος 3.2γ

α) Παλμοί έναυσης του διακόπτη Q_1 ,
 β) Παλμοί έναυσης του διακόπτη Q_2 .

γ) v_0, i_0 για ωμικό φορτίο,

δ) v_0, i_0 για ωμικό-επαγωγικό φορτίο,

ε) v_0, i_0 για επαγωγικό φορτίο.

ζ) v_0, i_0 για φορτίο με ημιτονοειδές ρεύμα εξόδου,

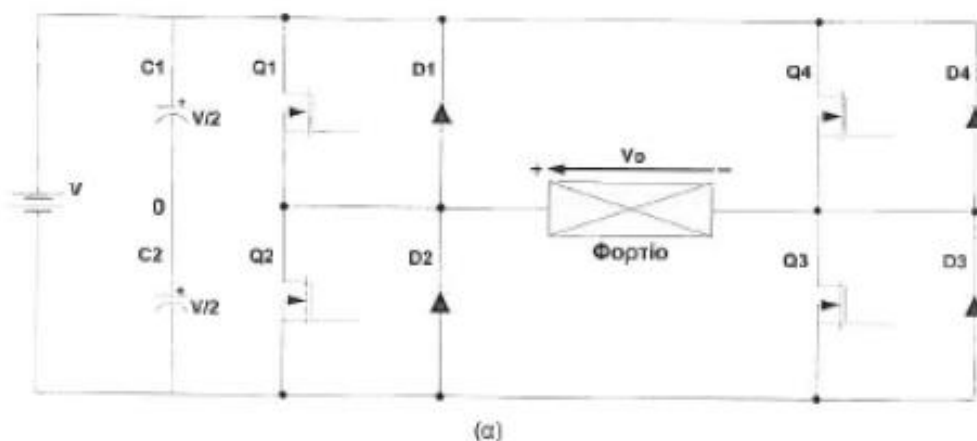
η) v_0, i_0 για χωρητικό φορτίο με ημιτονοειδές ρεύμα εξόδου.

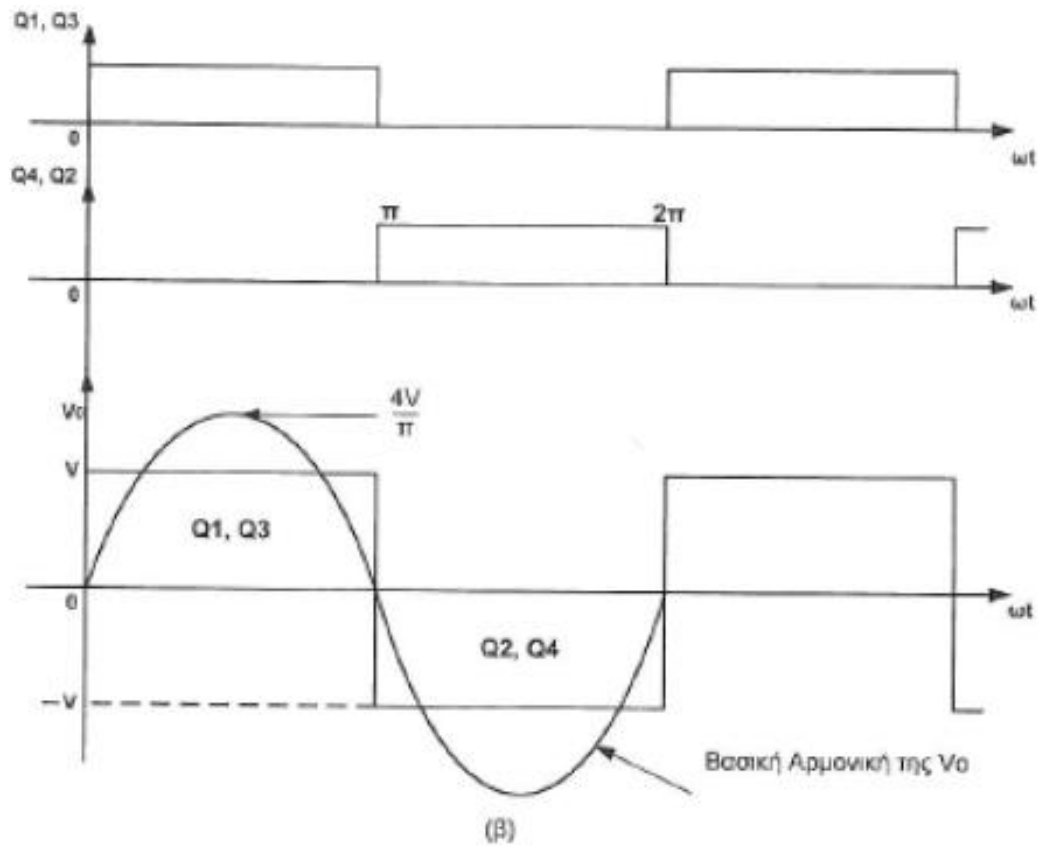
2.3 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Ο αντιστροφέας ημιγέφυρας που σχολιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο (σχήμα 2.2α) παρουσιάζει δύο σοβαρά μειονεκτήματα:

- για την κατασκευή του χρειάζονται δύο πυκνωτές μέσης λήψης,
- δεν μπορεί να δημιουργήσει τάση εξόδου με διαστήματα μηδενικής τάσης για μη ωμικά φορτία και
- το πλάτος της τάσης εξόδου έχει την μισή τιμή της τάσης εισόδου.

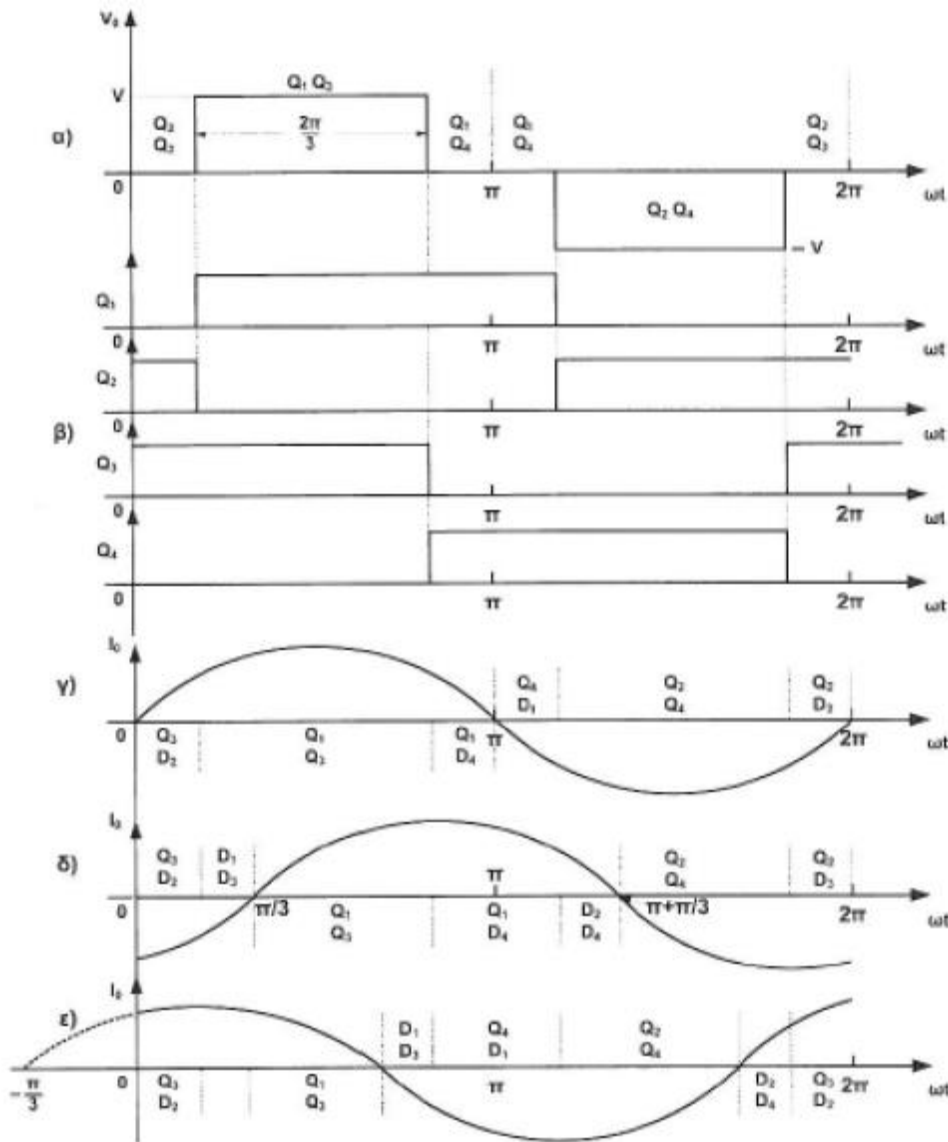
Στο παρακάτω σχήμα 2.4α παρουσιάζεται ένας αντιστροφέας σε συνδεσμολογία γέφυρας (αποτελείται από δύο ημιγέφυρες), ο οποίος δεν παρουσιάζει κανένα από τα παραπάνω μειονεκτήματα.





σχήμα 2.4: Μονοφασικός αντιστροφέας γέφυρας με MOSFET
 α) Κύκλωμα γέφυρας
 β) Κυματομορφές αντιστροφέα όταν τα MOSFET άγουν για 180°

Επίσης, στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται οι κυματομορφές του αντιστροφέα για διάφορα φορτία.



σχήμα 2.5: Κυματομορφές αντιστροφέα γέφυρας

- α) Τάση εξόδου
- β) Παλμοί έναυσης των MOSFET
- γ) Ρεύμα εξόδου για ωμικό φορτίο
- δ) Ρεύμα εξόδου για επαγωγικό φορτίο
- ε) Ρεύμα εξόδου για χωρητικό φορτίο

Εξετάζοντας το κύκλωμα του σχήματος 2.4(α) και τις κυματομορφές του σχήματος 2.5 συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

- Όταν το ρεύμα και η τάση εξόδου έχουν ταυτόχρονα θετικές τιμές (δηλαδή το γινόμενο $v_o \cdot i_o$ είναι θετικό), τότε άγουν οι

διακόπτες Q_2 και Q_3 και έτσι ενεργός ισχύς μεταφέρεται από την είσοδο του αντιστροφέα προς την έξοδο,

- Όταν το ρεύμα και η τάση εξόδου έχουν ταυτόχρονα αρνητικές τιμές (δηλαδή. το γινόμενο $v_o \cdot i_o$ είναι θετικό), τότε άγουν οι διακόπτες Q_2 και Q_4 και έτσι ενεργός ισχύ μεταφέρεται από την είσοδο του αντιστροφέα προς την έξοδο.

- Όταν η τάση εξόδου έχει μηδενική τιμή και ταυτόχρονα το ρεύμα εξόδου έχει θετική τιμή (δηλ. το γινόμενο $v_o \cdot i_o$ είναι μηδέν), τότε μπορεί να άγει ένα από τα ζεύγη των ημιαγωγών $[Q_3, D_2]$, $[Q_1, D_4]$ και έτσι επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του ρεύματος εξόδου. Δηλαδή αν στην περίπτωση αυτή άγει ο διακόπτης Q_3 τότε το ρεύμα εξαναγκάζει τη δίοδο D_2 να άγει και έτσι το ρεύμα κυκλοφορεί στο υποκύκλωμα Q_3 - φορτίο - D_2 . Το ρεύμα αυτό, το οποίο κυκλοφορεί στο υποκύκλωμα ονομάζεται ανακυκλούμενο ρεύμα (**circulating current**).

- Όταν η τάση εξόδου έχει μηδενική τιμή και ταυτόχρονα το ρεύμα εξόδου έχει αρνητική τιμή (δηλαδή το γινόμενο $v_o \cdot i_o$ είναι μηδέν), τότε άγει ένα από τα ζεύγη των ημιαγωγών $[Q_4, D_1]$, $[Q_2, D_3]$ και έτσι επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του ρεύματος εξόδου. Δηλαδή αν στην περίπτωση αυτή άγει ο διακόπτης Q_4 τότε το ρεύμα εξαναγκάζει τη δίοδο D_1 να άγει και έτσι το ρεύμα κυκλοφορεί στο υποκύκλωμα Q_4 -φορτίο- D_1 . Το ρεύμα αυτό, το οποίο κυκλοφορεί στο υποκύκλωμα ονομάζεται επίσης ανακυκλούμενο ρεύμα.

- Όταν η τάση εξόδου έχει θετική τιμή και ταυτόχρονα το ρεύμα εξόδου έχει αρνητική τιμή (δηλαδή το φορτίο είναι επαγωγικό και

το γινόμενο $v_0 \cdot i_0$ είναι αρνητικό), τότε οι δίοδοι ελεύθερης διέλευσης D_1 και D_3 εξαναγκάζονται να άγουν και έτσι το ρεύμα κυκλοφορεί μέσω του υποκυκλώματος πηγή- D_1 -φορτίο - D_3 .

- Όταν η τάση εξόδου έχει αρνητική τιμή και ταυτόχρονα το ρεύμα εξόδου έχει θετική τιμή (δηλαδή το φορτίο είναι χωρητικό και το γινόμενο είναι $v_0 \cdot i_0$ αρνητικό),

τότε οι δίοδοι ελεύθερης διέλευσης D_2 και D_4 εξαναγκάζονται να άγουν και έτσι το ρεύμα κυκλοφορεί μέσω του υποκυκλώματος πηγή- D_2 -φορτίο- D_4 . Στην περίπτωση αυτή ενεργός ισχύς μεταφέρεται από τον πυκνωτή του φορτίου προς την πηγή εισόδου.

2.4 ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΜΕ ΠΗΓΗ ΤΑΣΗΣ (THREEPHASE VOLTAGE SOURCE INVERTER)

Το κύκλωμα του βασικού τριφασικού αντιστροφέα με τροφοδοσία συνεχούς τάσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.6(α). Όπως παρατηρείται το κύκλωμα ισχύος του αντιστροφέα που έχει υλοποιηθεί με MOSFET ισχύος θα μπορούσε να υλοποιηθεί με τρανζίστορ ισχύος ή GTOs ή IGBTs ή θυρίστορ ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας αυτός αποτελείται από τρεις αντιστροφείς ημιγέφυρας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι παράλληλα και έχουν την ίδια κυματομορφή τάσης εξόδου σε σχέση με το ουδέτερο υποθετικό σημείο ο με μια

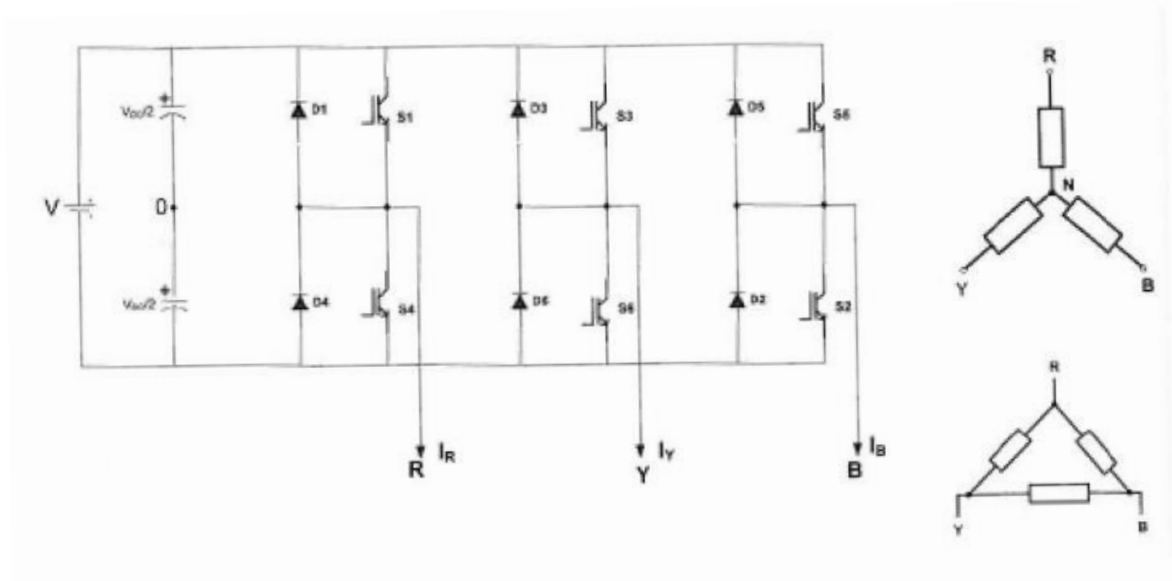
μετατόπιση 120° μεταξύ τους. Επομένως, για τον αντιστροφέα αυτόν ισχύουν οι σχέσεις

$$v_{R0}(\omega t) = v_{Y0}(\omega t - 120^\circ) = v_{B0}(\omega t - 240^\circ),$$

$$v_{RY}(\omega t) = v_{R0}(\omega t) - v_{Y0}(\omega t),$$

$$v_{YB}(\omega t) = v_{Y0}(\omega t) - v_{B0}(\omega t),$$

$$v_{BR}(\omega t) = v_{B0}(\omega t) - v_{R0}(\omega t).$$



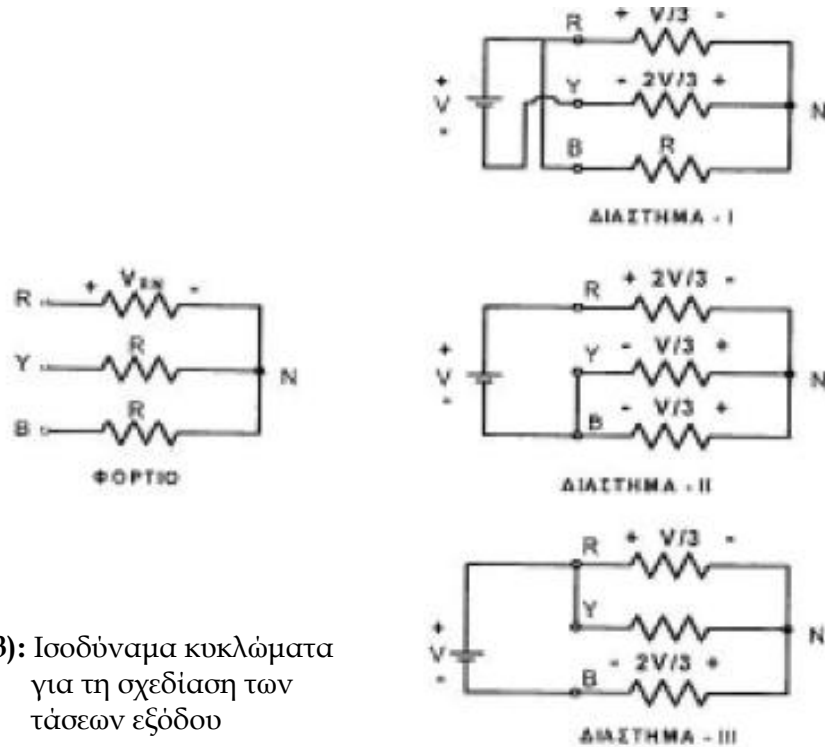
Σχήμα 2.6(α): Συνδεσμολογία τριφασικού αντιστροφέα με IGBTs

Επίσης, στο σχήμα 2.6(β) παρουσιάζονται οι διάφορες κυματομορφές του αντιστροφέα για ένα παράδειγμα παλμών έναυσης των διακοπών Q_1-Q_6 , διάρκειας 180° , έτσι ώστε οι παλμοί των πολικών τάσεων εξόδου του αντιστροφέα [$v_{RY}(\omega t)$, $v_{YB}(\omega t)$ και $v_{BR}(\omega t)$] να έχουν εύρος 120° . Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι όταν οι κυματομορφές εξόδου του αντιστροφέα είναι γνωστές, τότε μπορεί να βρεθούν και οι παλμοί έναυσης των διακοπών ή αντίθετα, αν οι παλμοί έναυσης των διακοπών είναι γνωστοί, τότε

μπορεί να βρεθούν οι τάσεις εξόδου του αντιστροφέα ανεξάρτητα με το είδος του φορτίου, το οποίο μπορεί να είναι ισορροπημένο ή μη και να έχει οποιοδήποτε συνδυασμό αντίστασης, αυτεπαγωγής και χωρητικότητας. Όπως διαπιστώνεται και από το σχήμα 2.6, η λειτουργία του αντιστροφέα για μια περίοδο τάσης εξόδου μπορεί να διαιρεθεί σε έξι διαστήματα. Στα διαστήματα αυτά, για να επιτευχθούν οι τάσεις εξόδου του σχήματος 2.6(β), οι διακόπτες του κυκλώματος πρέπει να άγουν με την ακόλουθη σειρά :

Διάστημα	Διακόπτες που άγουν
I	1,5,6
II	1,2,6
III	1,2,3
IV	2,4,3
V	5,4,3
VI	5,4,6

πίνακας 2.1



σχήμα 2.6(β): Ισοδύναμα κυκλώματα για τη σχεδίαση των τάσεων εξόδου

Επομένως, στην περίπτωση αυτή, για κάθε διάστημα λειτουργίας, άγουν πάντοτε τρεις διακόπτες (δύο από τους πάνω και ένας από τους κάτω διακόπτες ή αντίστροφα).

2.5 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTERS)

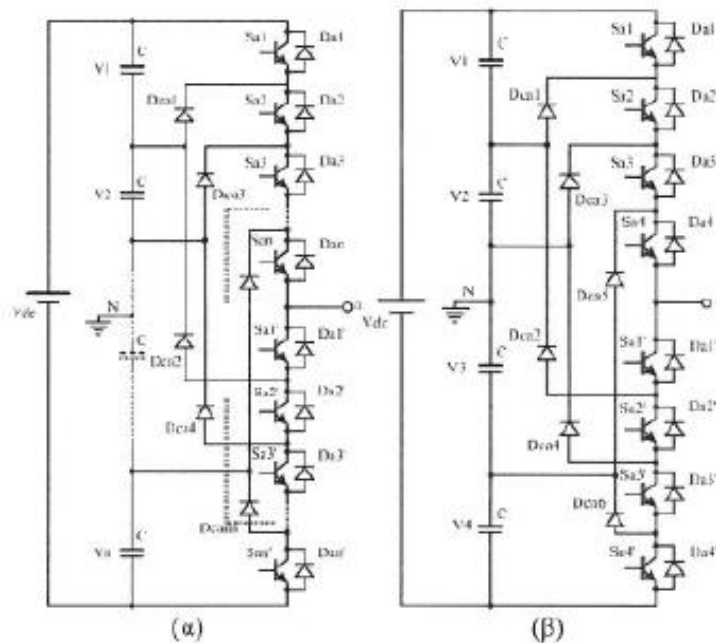
Οι αντιστροφείς εκείνοι οι οποίοι παράγουν φασική τάση εξόδου επιπέδων $+V_{in}$ και $-V_{in}$ ονομάζονται αντιστροφείς δύο επιπέδων. Οι αντιστροφείς περισσότερων επιπέδων, οι οποίοι ονομάζονται αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων, εφ' ενός έχουν δυνατότητα παραγωγής υψηλότερης τάσης εξόδου, αφ' ετέρου η τάση εξόδου των έχει καλύτερη ποιότητα (δηλαδή καλύτερο THD%) χωρίς να αυξηθεί η διακοπτική συχνότητα του αντιστροφέα. Σε εφαρμογές υψηλών τάσεων και ισχύων οι αντιστροφείς δύο επιπέδων έχουν κάποιους περιορισμούς λειτουργίας σε υψηλές συχνότητες λόγω των διακοπτικών απωλειών και του περιορισμού των ονομαστικών τιμών ρεύματος και τάσης των ημιαγωγών. Επιπλέον, οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων βρίσκουν εφαρμογές στην μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, και στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης μεγάλης ισχύος. Το μεγάλο πλεονέκτημα των αντιστροφέων πολλαπλών επιπέδων είναι ότι επιτυγχάνουν υψηλές τάσεις εξόδου για την επεξεργασία υψηλών ισχύων. Επίσης επιτυγχάνουν τη μείωση των ανώτερων αρμονικών συνιστωσών της τάσης εξόδου, χωρίς να απαιτείται η αύξηση της διακοπτικής συχνότητας ή η μείωση της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα. Η κυματομορφή της τάσης εξόδου συντίθεται από ένα σύνολο επιπέδων τάσης, τα οποία συνήθως δημιουργούνται με διαίρεση της DC τάσης εισόδου από πυκνωτές. Όσο ο αριθμός

των επιπέδων τάσης εξόδου αυξάνεται, τόσο ο συντελεστής THD% τείνει προς το μηδέν. Βέβαια, υπάρχουν και περιορισμοί στον αριθμό των επιπέδων τάσης που θα έχει τελικά η κυματομορφή της τάσης εξόδου και οι οποίοι οφείλονται στο ενδεχόμενο να πέσει το κύκλωμα σε αστάθεια. Παρακάτω θα περιγραφούν οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων με διόδους περιορισμού (Diode-Clamped Multilevel Inverters, DCMI), οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων με αιωρούμενους πυκνωτές (Flying - Capacitors Multilevel Inverters, FCMI), οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων που αποτελούνται από επιμέρους μονοφασικούς αντιστροφείς συνδεδεμένους σε σειρά με τροφοδοσία διακριτών πηγών τάσης (Cascaded- Inverters with Separated DC Sources, SDCSMI) και οι αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων ουδέτερου σημείου (Neutral Point-Clamped Multilevel Inverters, NPCMI).

2.5.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΔΙΟΔΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ (DIODE - CLAMPED MULTILEVEL INVERTERS, DCMI)

Οι DCMI αντιστροφείς χρησιμοποιούν πυκνωτές σε σειρά για να διαιρέσουν τη DC τάση εισόδου σε ένα σύνολο επιπέδων τάσης. Για να παραχθούν m επίπεδα φασικής τάσης εξόδου απαιτούνται $m-1$ πυκνωτές στην είσοδο. Επίσης, απαιτούνται $m-1$ συμπληρωματικά ζεύγη διακοπτικών διατάξεων. Ένας τριφασικός DCMI αντιστροφέας πέντε επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 2.7. Η

διαφορά δυναμικού στους οπλισμούς του κάθε πυκνωτή είναι $V_{dc}/4$, όπου V_{dc} η τάση εισόδου. Το σημείο Ο θεωρείται το κάτω μέρος του κυκλώματος ως σημείο αναφοράς για τη φασική τάση εξόδου του αντιστροφέα.

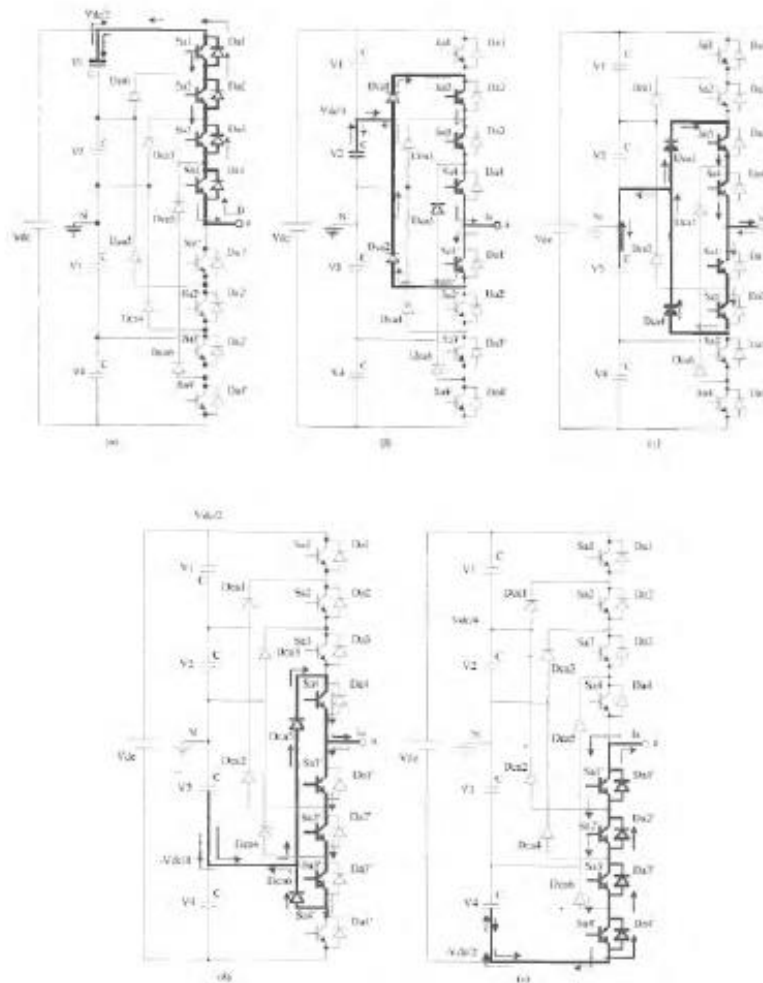


σχήμα 2.7: Αντιστροφέας με διόδους περιορισμού(DCMI).
 α) Μία φάση ενός αντιστροφέα n-επιπέδων με διόδους περιορισμού.
 β) Μία φάση ενός αντιστροφέα n -επιπέδων με διόδους περιορισμού.

Με το συγκεκριμένο τύπο αντιστροφεία, υπάρχουν πέντε διακοπτικοί συνδυασμοί για να επιτευχθούν τα πέντε επίπεδα στη φασική τάση εξόδου, έστω μεταξύ των σημείων Α και Ο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα επίπεδα τάσης με τον αντίστοιχο διακοπτικό συνδυασμό που τα δημιουργεί.

Φυσική τάση εξόδου V_{AO}	Διακοπτική κατάσταση							
	S_{a1}	S_{a2}	S_{a3}	S_{a4}	$S_{a'1}$	$S_{a'2}$	$S_{a'3}$	$S_{a'4}$
V_{DC}	1	1	1	1	0	0	0	0
$3 V_{DC}/4$	0	1	1	1	1	0	0	0
$V_{DC}/2$	0	0	1	1	1	1	0	0
$V_{DC}/4$	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1

πίνακας 2.2: Διακοπτικοί συνδυασμοί και αντίστοιχα παραγόμενα επίπεδα τάσης για τις DCMΙ διατάξεις.



σχήμα 2.8: Κατάσταση αγωγής των ημιαγωγών για την παραγωγή των διάφορων επιπέδων της φασικής τάσης εξόδου ενός αντιστροφέα με διόδους περιορισμού 5-επιπέδων.

- α) Για επίπεδο $V_{DC}/2$
- β) Για επίπεδο $V_{DC}/4$
- γ) Για επίπεδο μηδέν
- δ) Για επίπεδο $V_{DC}/4$ level
- ε) Για επίπεδο $V_{DC}/2$

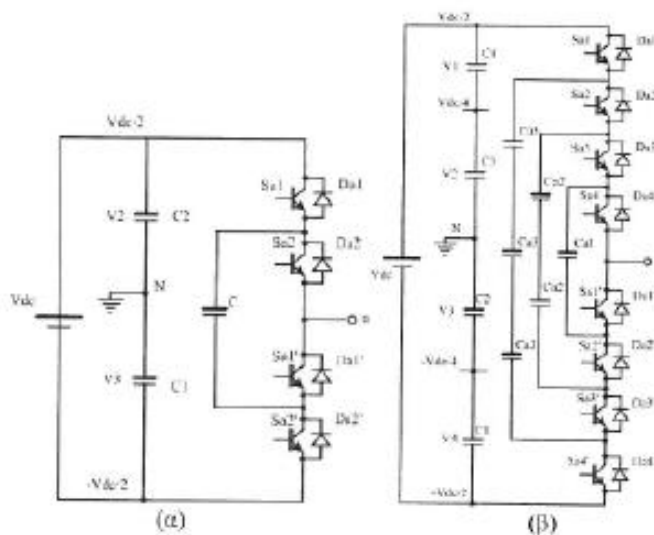
Τα πλεονεκτήματα των DCML αντιστροφένων είναι ότι επιτρέπουν αναγωγή σε οποιοδήποτε δυναμικό επιθυμούμε (με κατάλληλη επιλογή των χωρητικότητων σε σχέση με το ουδέτερο σημείο), η δυνατότητα «επέκτασης» σε πολλαπλά επίπεδα τάσης εξόδου και

η μειωμένη δράση ανώτερων αρμονικών σε σύγκριση με τους συμβατούς αντιστροφείς.

Μειονέκτημα των DCM1 αντιστροφέων είναι ο σχετικά μεγάλος αριθμός ημιαγωγών που απαιτείται για την υλοποίησή του. Ωστόσο, το σημαντικό μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι η αστάθεια-διακύμανση του δυναμικού αναφοράς (neutral point fluctuation). Το ουδέτερο σημείο είναι ευαίσθητο στις διάφορες ηλεκτρικές μεταβολές με αποτέλεσμα το δυναμικό του να ολισθαίνει (voltage drift) και να προξενεί τη δυσλειτουργία των ημιαγωγικών στοιχείων λόγω υπέρβασης των ορίων τάσης λειτουργίας. Αίτια της ολίσθησης του σημείου αναφοράς μπορεί να είναι η μη κανονική «συμπεριφορά» της διακοπτικής διάταξης (επιλογή διακοπτικής στρατηγικής ή επιλογή ημιαγωγικών διακοπών) και οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των πυκνωτών διαίρεσης της dc τάσης. Επίσης, όσο ο συντελεστής ισχύος του φορτίου μειώνεται, η πιθανότητα ολίσθησης του ουδέτερου σημείου αυξάνεται.

2.5.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ (FLYING-CAPACITORS MULTILEVEL INVERTERS, FCMI).

Οι FCMI αντιστροφείς χρησιμοποιούν μία κλιμακωτή δομή πυκνωτών. Όπως και στην περίπτωση των DCMI αντιστροφέων, για να δημιουργηθούν m επίπεδα στη φασική τάση εξόδου, απαιτούνται $m-1$ πυκνωτές σε ρόλο διαιρέτη τάσης μεταξύ των γραμμών τροφοδοσίας. Η τιμή της μεταβολής της διαφοράς δυναμικού μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωτών καθορίζει το «ύψος» των επιπέδων τάσης στην κυματομορφή εξόδου. Όπως θα δούμε και στο σχήμα 2.9 που παριστάνει έναν FCMI αντιστροφέα, όλες οι φάσεις «μοιράζονται» τους ίδιους πυκνωτές τροφοδοσίας (dc-link capacitors).



σχήμα 2.9: Τριφασικός FCMI αντιστροφέας.

α) Μια φάση ενός αντιστροφέας με αιωρούμενους πυκνωτές 3ων-επιπέδων.

β) Μια φάση ενός αντιστροφέας με αιωρούμενους πυκνωτές 5-επιπέδων διατάξεις.

Οι υπόλοιποι πυκνωτές του συστήματος λέγονται πυκνωτές εξισορρόπησης εσωτερικού βρόχου (inner-loop balancing capacitors) και είναι ανεξάρτητοι ανά φάση. Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διακοπτικές καταστάσεις που δημιουργούν πέντε επίπεδα φασικής τάσης εξόδου.

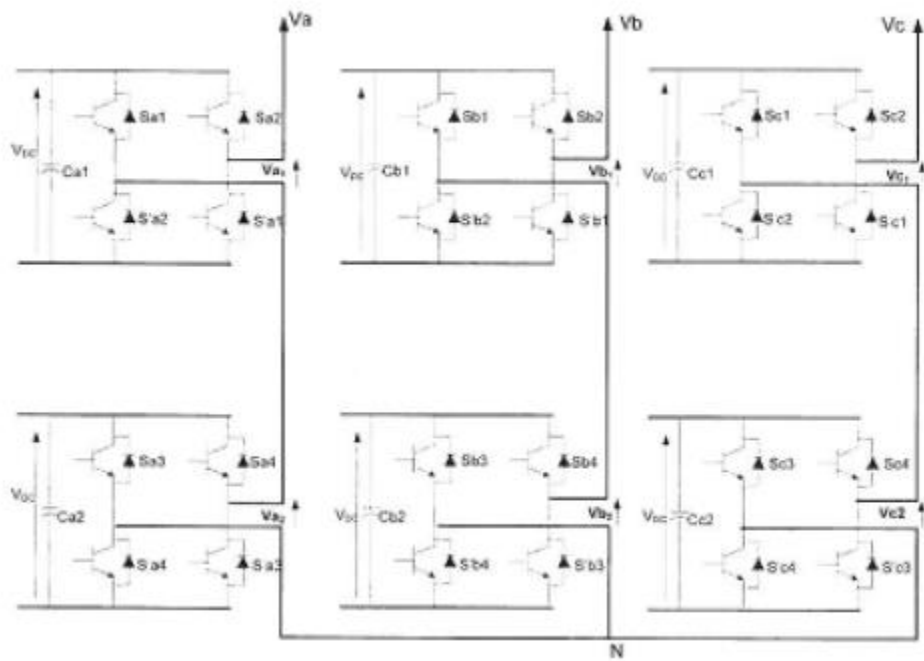
Level of Phase output voltage V_{aN}	State of the switching devices							
	S_{a1}	S_{a2}	S_{a3}	S_{a4}	$S_{a'1}$	$S_{a'2}$	$S_{a'3}$	$S_{a'4}$
$V_{DC}/2$	1	1	1	1	0	0	0	0
$V_{DC}/4$	1	1	1	0	1	0	0	0
	0	1	1	1	0	0	0	1
	1	0	1	1	0	0	1	0
$V_{DC}/2$	0	0	0	0	1	1	1	1
$V_{DC}/4$	1	0	0	0	1	1	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	1
	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1	0	0
	0	0	1	1	0	0	1	1
	1	0	1	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	1	1	0
	0	1	0	1	0	1	1	0
	0	1	1	0	0	1	0	1

πίνακας 2.3: Διακοπτικοί συνδυασμοί και αντίστοιχα παραγόμενα. επίπεδα τάσης για τις FCMΙ διατάξεις.

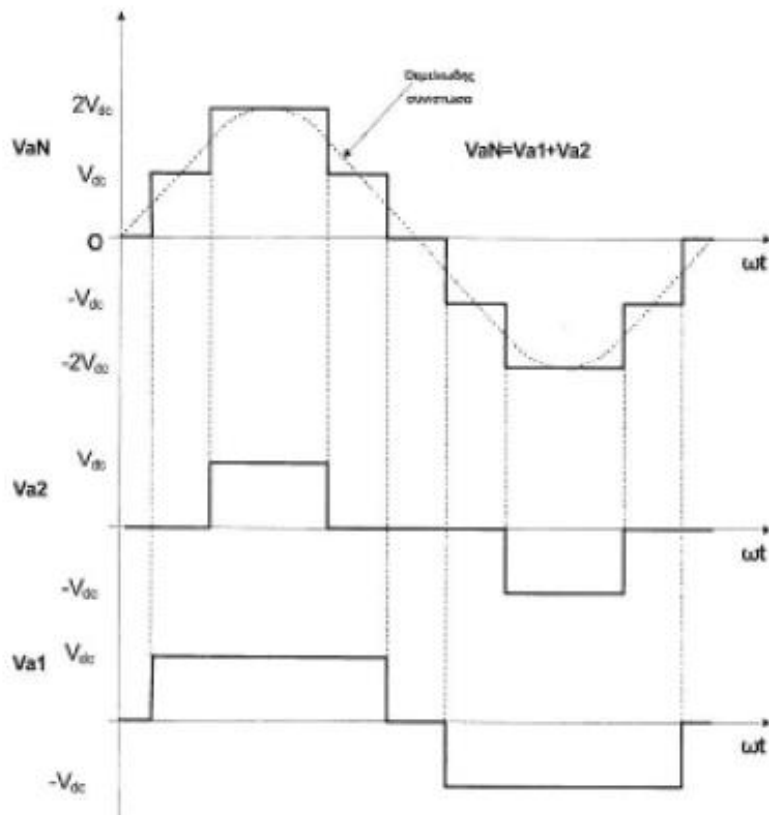
2.5.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΜΕ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΤΑΣΗΣ (MULTILEVEL INVERTERS USING CASCADED-INVERTERS WITH SEPARATED DC SOURCES, SDCS)

Οι SDCS αντιστροφείς συνθέτουν την επιθυμητή τάση εξόδου τροφοδοτούμενοι από ένα σύνολο ανεξάρτητων πηγών DC τάσης, πηγές οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με συσσωρευτές ή με κυψέλες υδρογόνου ή με φωτοβολταϊκές κυψέλες. Οι SDCS αντιστροφείς αποτελούνται από μονάδες μονοφασικών αντιστροφέων πλήρους γέφυρας. Οι έξοδοι των μονάδων αυτών συνδέονται σε σειρά.

Ανάλογα με τους διακοπτικούς συνδυασμούς των τεσσάρων διακοπών της, κάθε μονάδα μπορεί να παράγει τρία επίπεδα εξόδου: +VDC, -VDC και μηδέν. Συνεπώς, η AC έξοδος του συστήματος θα είναι το άθροισμα των επιμέρους εξόδων των μονοφασικών αντιστροφέων, αφού οι επιμέρους έξοδοι συνδέονται σε σειρά. Η σημαντική διαφορά στη μέθοδο αυτή είναι ότι πλέον ο αριθμός των επιπέδων της φασικής τάσης εξόδου είναι $m = 2s + 1$, όπου s είναι ο αριθμός των DC πηγών.



σχήμα 2.10: SDCS αντιστροφάς, τριφασικός, 5 επιπέδων.



σχήμα 2.10b: Φασική τάση εξόδου ενός αντιστροφέα SDCS 5-επιπέδων.

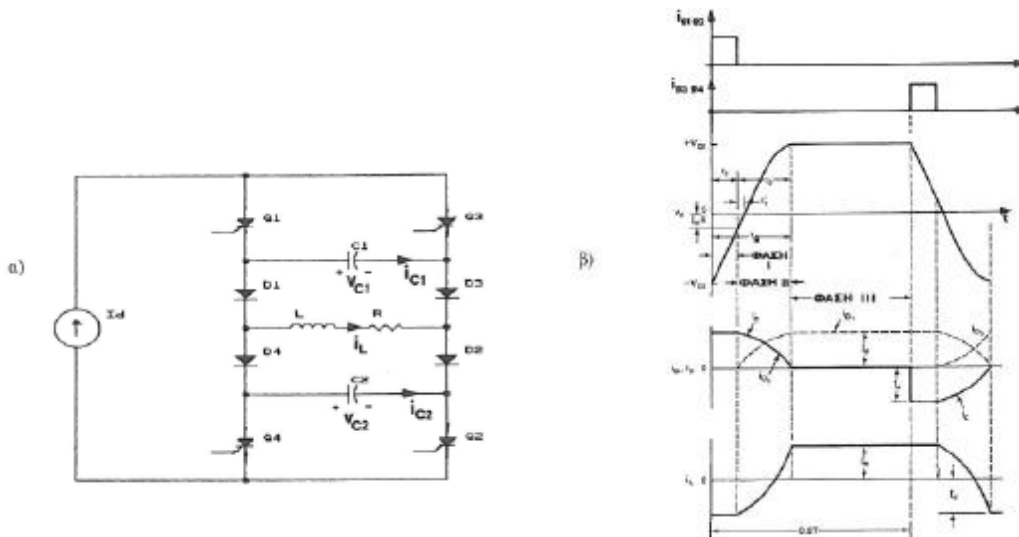
2.6 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΜΕ ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (CURRENT SOURCE)

Στο σχήμα 2.11(α) παρουσιάζεται ένας μονοφασικός αντιστροφέας, του οποίου η είσοδος είναι πηγή συνεχούς ρεύματος. Τα πλεονεκτήματα ενός αντιστροφέα με πηγή συνεχούς ρεύματος, όταν συγκριθεί με έναν αντίστοιχο που χρησιμοποιεί θυρίστορ είναι τα εξής :

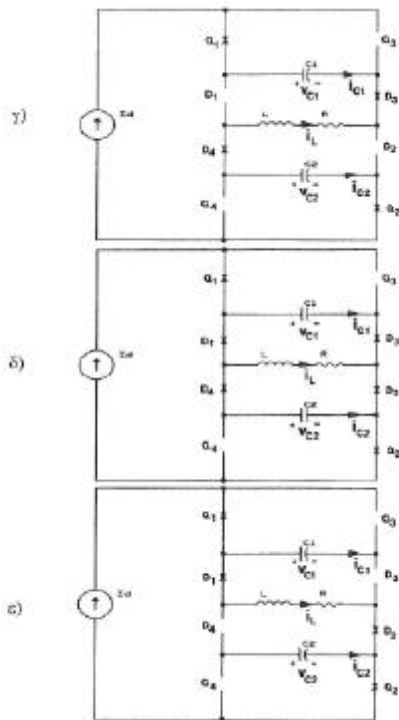
- Επειδή το ρεύμα εισόδου είναι πάντοτε σταθερό, αν γίνει κάποιο λάθος στους παλμούς έναυσης των θυρίστορ του αντιστροφέα και παρουσιαστεί κάποιο βραχυκύκλωμα, αυτό δεν θα έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή των θυρίστορ.
- Επειδή ο αντιστροφέας αυτός για επαγωγικά φορτία παρουσιάζει αρνητική τάση εισόδου, το ρεύμα εισόδου είναι πάντοτε θετικό και έτσι δεν χρειάζονται δίοδοι ελεύθερης διέλευσης.
- Το βοηθητικό κύκλωμα μετάβασης αποτελείται μόνο από ένα πυκνωτή.
- Επειδή το ρεύμα εισόδου είναι σταθερό, ο αντιστροφέας δεν παρουσιάζει αιχμές ρεύματος. Κατά συνέπεια τα ημιαγωγά στοιχεία υφίστανται μικρότερη καταπόνηση ρεύματος και επίσης ο αντιστροφέας παρουσιάζει μειωμένη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.

Τα μειονεκτήματα ενός αντιστροφέα με πηγή συνεχούς ρεύματος, όταν συγκριθεί με έναν αντίστοιχο που χρησιμοποιεί θυρίστορ είναι τα εξής :

- Το βασικότερο μειονέκτημα είναι η δημιουργία της πηγής συνεχούς ρεύματος, η οποία μπορεί να κατασκευαστεί με μια πηγή συνεχούς τάσης και ένα επαγωγικό φίλτρο.
- Για τριφασικούς αντιστροφείς το φορτίο πρέπει να είναι συμμετρικό. Αν το φορτίο δεν είναι συμμετρικό, η τάση εισόδου του αντιστροφέα παρουσιάζει ανώτερες αρμονικές, πράγμα το οποίο θα συντελέσει στην αύξηση του μεγέθους της αυτεπαγωγής του φίλτρου εισόδου.



σχήμα 2.11: 1-Φ αντιστροφέας με πηγή συνεχούς ρεύματος.
 α) Συνδεσμολογία κυκλώματος.
 β) Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων του αντιστροφέα.



σχήμα 2.11: (συνέχεια) 1-Φ αντιστροφείας με πηγή συνεχούς ρεύματος.

- γ) Ισοδύναμο κύκλωμα αντιστροφείας στη φάση I.
- δ) Ισοδύναμο κύκλωμα αντιστροφείας στη φάση II.
- ε) Ισοδύναμο κύκλωμα αντιστροφείας στη φάση III.

Ο αντιστροφείας με πηγή συνεχούς ρεύματος είναι το δυαδικό του αντιστροφεία με πηγή συνεχούς τάσης. Οι κυματομορφές ρεύματος εξόδου είναι οι ίδιες με τις κυματομορφές τάσης εξόδου του αντιστροφεία με πηγή συνεχούς τάσης, με την προϋπόθεση ότι έχουν τους ίδιους παλμούς έναυσης. Η κυματομορφή της τάσης εισόδου είναι η ίδια με την κυματομορφή του ρεύματος εισόδου του αντιστροφεία με πηγή συνεχούς τάσης. Οι κυματομορφές των τάσεων εξόδου είναι οι ίδιες με τις κυματομορφές των ρευμάτων εξόδου του αντιστροφεία με πηγή συνεχούς τάσης.

Με βάση το σχήμα 2.11(α) όταν τα ζεύγη των θυρίστορ Q_1, Q_2 και Q_3, Q_4 άγουν εναλλάξ τότε στο φορτίο δημιουργείται ένας

εναλλασσόμενος τετραγωνικός παλμός ρεύματος πλάτους I_d . Οι πυκνωτές C1 και C2 χρησιμοποιούνται για τη σβέση των θυρίστορ του αντιστροφέα. Μια δίοδος είναι συνδεδεμένη σε σειρά με κάθε θυρίστορ για την απομόνωση των πυκνωτών από το φορτίο. Όταν τα θυρίστορ Q1 και Q2 άγουν, τότε στο φορτίο δημιουργείται ένα ρεύμα θετικού παλμού και όταν τα θυρίστορ Q3 και Q4 άγουν, τότε στο φορτίο δημιουργείται ένα ρεύμα αρνητικού παλμού. Για την εξήγηση της λειτουργίας του αντιστροφέα έχει υποτεθεί ότι αρχικά άγουν τα θυρίστορ Q3 και Q4. Η λειτουργία του αντιστροφέα του σχήματος 6.11(α) για μια ημιπερίοδο ρεύματος εξόδου μπορεί να διαιρεθεί στις ακόλουθες λειτουργικές φάσεις :

Φάση I Στην αρχή της φάσης αυτής (δηλαδή στο χρόνο $t=0$), όπου έχει υποτεθεί ότι οι πυκνωτές C1 και C2 έχουν τάση αναφοράς αυτή του σχήματος 2.11(α) και είναι φορτισμένοι με μια αρχική τάση $-V_{co}$, παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στα θυρίστορ Q1 και Q2 με αποτέλεσμα ένα σταθερό συνεχές ρεύμα τιμής I_d να αρχίσει να κυκλοφορεί μέσω του φορτίου και των στοιχείων Q1, C1, D3, R, L, D4, C2 και Q2. Στο χρόνο $t=0$ όπου εφαρμόζονται οι παλμοί έναυσης στα θυρίστορ Q1 και Q2 επιτυγχάνεται η σβέση των θυρίστορ Q3 και Q4 λόγω της αρνητικής τους πόλωσης από τους πυκνωτές μετάβασης. Επίσης, στην αρχή της φάσης αυτής οι δίοδοι D1 και D2 δεν άγουν γιατί είναι αρνητικά πολωμένες από τους πυκνωτές μετάβασης.

Επομένως, το ισοδύναμο κύκλωμα του αντιστροφέα για τη φάση I είναι αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11(γ). Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι πυκνωτές C1 και C2 αρχίζουν να φορτίζονται.

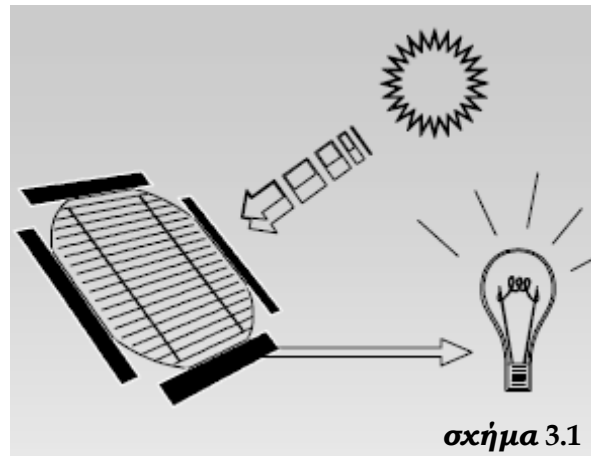
Φάση II Η φάση αυτή αρχίζει στο χρόνο $t=t_1$ όπου, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, άγουν και οι τέσσερις δίοδοι του αντιστροφέα με αποτέλεσμα να συνδέουν παράλληλα τους πυκνωτές με το φορτίο. Το ισοδύναμο κύκλωμα του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11(δ), όπου το ρεύμα I_d μοιράζεται μεταξύ των πυκνωτών μετάβασης και του φορτίου.

Φάση III Η φάση αυτή αρχίζει στο χρόνο $t=t_2$, όπου οι δίοδοι D3 και D4 σταματούν να άγουν, με αποτέλεσμα το ρεύμα να αρχίσει να ρέει μέσω των στοιχείων Q1, D1, φορτίο, D2 και Q2. Το ισοδύναμο κύκλωμα γι' αυτή τη λειτουργική φάση του αντιστροφέα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11(ε). Η φάση αυτή διαρκεί μέχρι να δοθεί παλμός έναυσης στα θυρίστορ Q3 και Q4 και να αρχίσει η λειτουργία της άλλης ημιπεριόδου του αντιστροφέα. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι στον παραπάνω αντιστροφέα τα θυρίστορ Q1 και Q2 όταν αρχίσουν να άγουν επιτυγχάνουν αρχικά τη σβέση των θυρίστορ Q3 και Q4, στη συνέχεια φορτίζουν τους δύο πυκνωτές μετάβασης με αντίθετη πολικότητα και τέλος τροφοδοτούν το φορτίο με θετικό ρεύμα. Όταν τα θυρίστορ Q3 και Q4 άγουν επιτυγχάνουν αρχικά τη σβέση των θυρίστορ Q1 και Q2,

στη συνέχεια φορτίζουν τους πυκνωτές μετάβασης με αντίθετη από την προηγούμενη πολικότητα και τελευταία τροφοδοτούν το φορτίο με αρνητικό ρεύμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

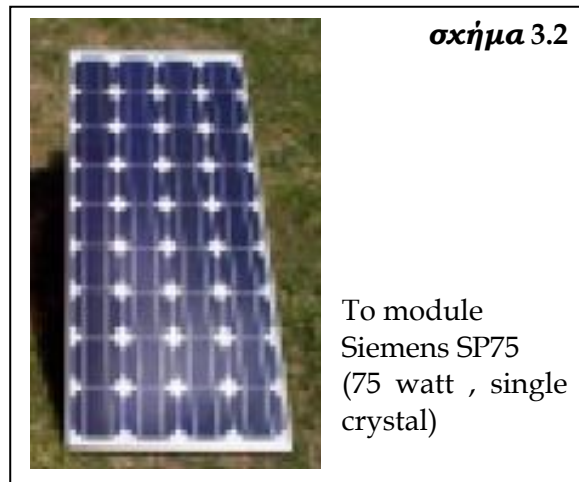
Solar Cell (φωτοβολταϊκό στοιχείο): Πρόκειται για λεπτές ταμπλέτες σιλικόνης, όμοιες με τα computer chips, όμως πολύ μεγαλύτερες και πολύ μικρότερου κόστους. Η σιλικόνη (**πυρίτιο, Si**) ως μη τοξική, είναι ασφαλές υλικό.



σχήμα 3.1

Το ηλιακό φως προσπίπτει στα Solar Cells όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Solar Cells χρησιμοποιούν το ηλιακό φως ως καύσιμο και δεν αποθηκεύουν ενέργεια (δες και σχήμα 1.2, σελ. 7).

Module: Ένα μόνο Solar Cell παράγει 0,5 Volt. Συνδέοντας 36 Solar Cells μεταξύ τους επιτυγχάνουμε τάση που είναι υπεραρκετή για την φόρτιση μπαταριών των 12 Volt και μπορούν να θέσουν σε



σχήμα 3.2

To module
Siemens SP75
(75 watt , single
crystal)

λειτουργία μικρές αντλίες ή κινητήρες. Το σύμπλεγμα των 36 Cells αποτελεί ένα module. Πολλά modules συνδέονται για το σχηματισμό ενός **Panel**. Τα panels συνδέονται επίσης

σχηματίζοντας ένα **PV-array** (**photovoltaic array** - φωτοβολταϊκή διάταξη).

Inverter: Τα Solar Cells, όπως και οι κοινές μπαταρίες και τα περισσότερα κυκλώματα λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (**direct current – DC**). Οι οικιακές συσκευές όμως, καθώς και οι κινητήρες ή οι γεννήτριες, λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (**alternating current – AC**). Ένας inverter λοιπόν, μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Απλές μαθηματικές σχέσεις συνδέουν τα βασικά μεγέθη που αφορούν ένα κύκλωμα. Έτσι, η ένταση I σε Ampere (A), η τάση V σε Volt (V), η αντίσταση R σε Ohm (Ω), η ισχύς P σε Watt (W) και η ενέργεια E σε βατώρες (Wh) συνδέονται με τις εξής σχέσεις:

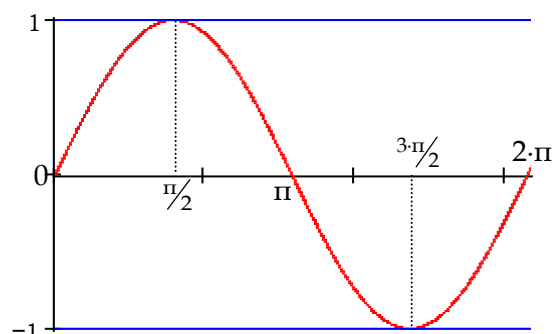
$$V = I \cdot R \text{ (νόμος του Ohm),}$$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} ,$$

$E = P \cdot t$ (όπου t ο χρόνος στον οποίο το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα).

Frequency:

Το εναλλασσόμενο ρεύμα δεν είναι παρά μια ταλαντευόμενη ηλεκτρικού φορτίου, της



$$y = \eta \mu x, \quad x \in [0, 2 \cdot \pi]$$

οποίας η κατεύθυνση μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο. Μεγέθη, όπως η ένταση (current σε Ampere (A)) και η τάση (voltage σε Volt (V)) του εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, παρίστανται γραφικά με κυματοειδείς (τριγωνομετρικές) συναρτήσεις και ένα περιοδικό κύμα επαναλαμβάνεται το ίδιο ανά σταθερά χρονικά διαστήματα. Ένα πλήρες κύμα που επαναλαμβάνεται το ίδιο ανά σταθερά χρονικά διαστήματα, καλείται κύκλος (**cycle**). Για παράδειγμα, ένας κύκλος είναι το πλήρες κύμα του σχήματος 3.3. Ως συχνότητα (**frequency**) ορίζεται το πλήθος των κύκλων που επαναλαμβάνονται ανά δευτερόλεπτο, μετράται δε σε **Hertz (Hz)**. Ως περίοδος (**period**), ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για το σχηματισμό ενός πλήρους κύκλου, πριν αυτός επαναληφθεί. Η περίοδος και η συχνότητα είναι μεγέθη αντίστροφα. Οι περισσότεροι inverters μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυα με συχνότητα 60 Hz για τις Η.Π.Α. και 50 Hz για την Ευρώπη και την Ασία.

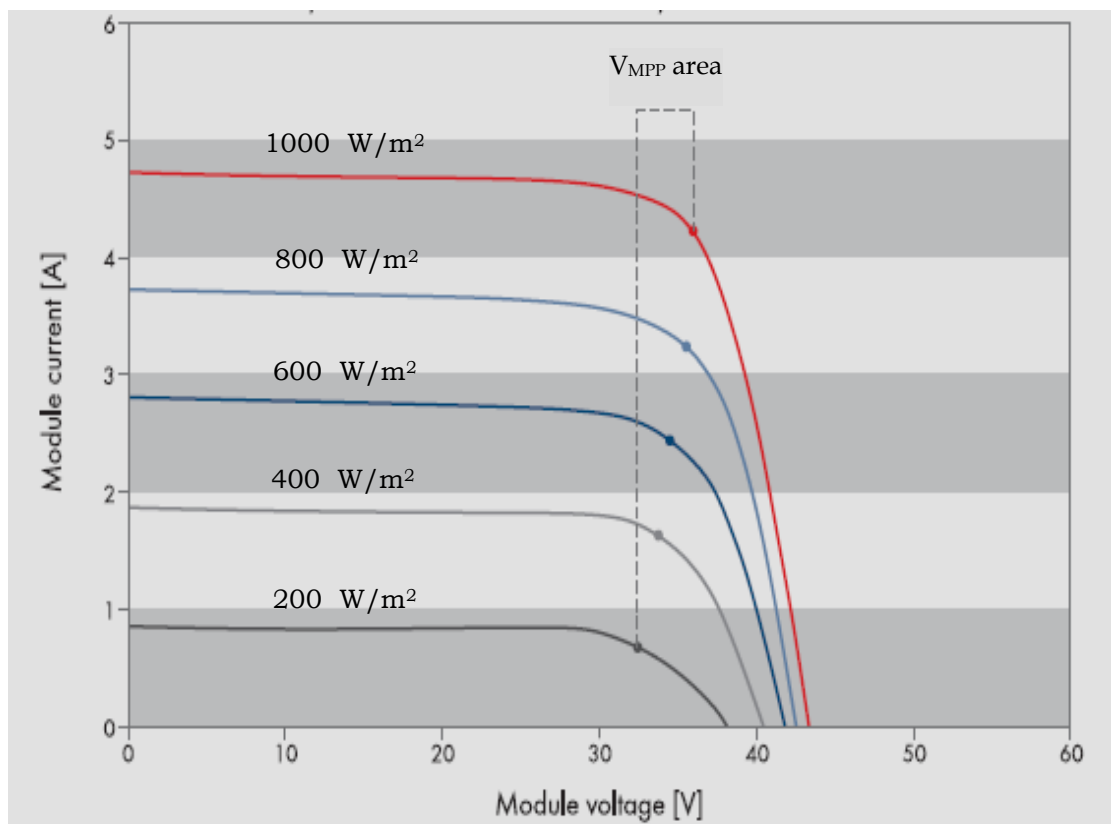
Standard Test Conditions: Είναι οι συνθήκες υπό τις οποίες «τεστάρονται» τα PV modules προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκτίμηση της αντοχής τους, η ποιότητα κατασκευής τους, η απόδοσή τους και η σύγκρισή διαφορετικών μοντέλων μεταξύ τους. Οι Standard Test Conditions (STC) είναι:

Irradiation	1000 W/m ²
Temperature	25°C
Air mass	1,5.

Όταν ένα PV module λειτουργεί υπό αυτές τις συνθήκες, κάτι που μόνο στο εργαστήριο επιτυγχάνεται, λέμε ότι βρίσκεται σε **rate operation**.

Το πηλίκο της ενέργειας (σε KWh) που μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρήγαγε εντός ορισμένου χρόνου, προς την ενέργεια που θα μπορούσε να έχει παραχθεί στον ίδιο χρόνο εάν η ίδια μονάδα βρισκόταν σε rate operation, καλείται **Capacity Factor**

Irradiation: Η ένταση του ηλιακού φωτός καλείται ακτινοβολία (irradiance ή irradiation) και μετράται σε Watt/m^2 . Κατά τους θερινούς μήνες και όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι κάθετες στη γήινη επιφάνεια, η ακτινοβολία στο επίπεδο της θάλασσας είναι

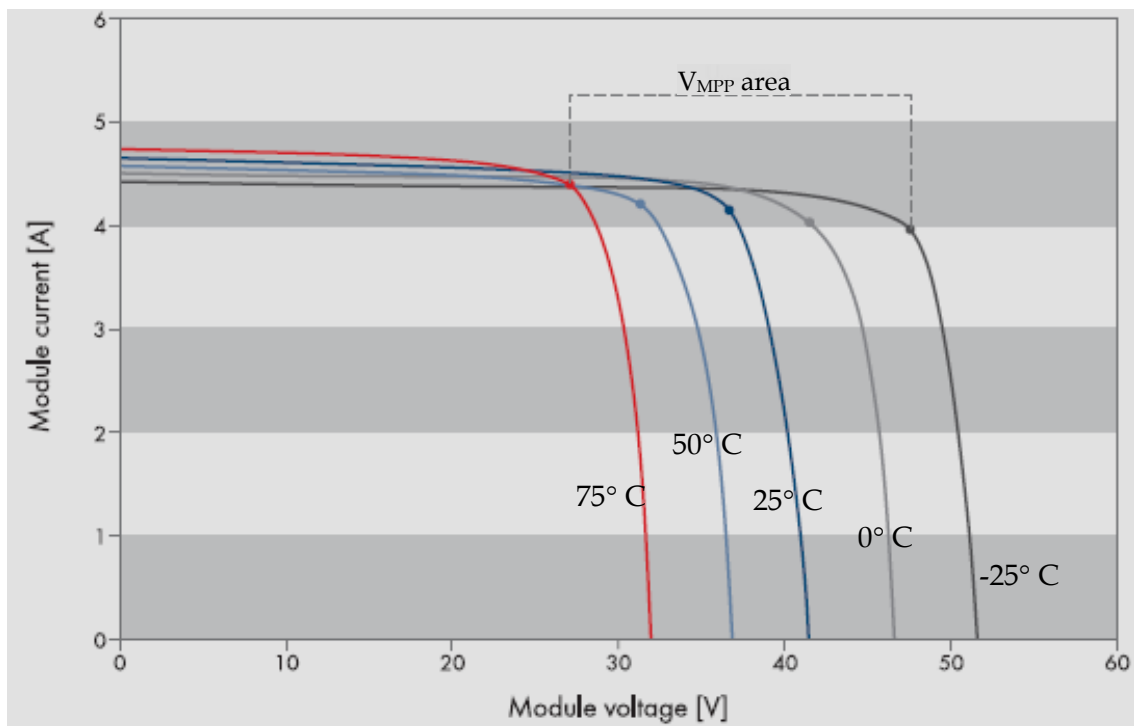


σχήμα 3.4 PV module voltage and current at varying irradiation and constant temperature

περίπου 1000 W/m^2 . Αυτού του μεγέθους η ακτινοβολία χρησιμοποιείται για να υποβάλουμε σε δοκιμές και εν τέλει να εκτιμήσουμε τη λειτουργία των PV – modules.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4, το ρεύμα που παράγεται από ένα module είναι ευθέως ανάλογο της προσπίπτουσας στο module ακτινοβολίας. Εάν το ηλιακό φως προσπίπτει στο module υπό γωνία, η ακτινοβολία είναι ασθενέστερη και άρα η ένταση του παραγόμενου ρεύματος φθίνει.

Temperature: Παρατηρώντας το σχήμα 3.5 συμπεραίνουμε πως η πτώση της θερμοκρασίας έχει ως συνέπεια την αύξηση του module voltage, ενώ το module current μειώνεται μεν, αλλά τόσο λίγο, ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι παραμένει περίπου σταθερό. Αντίστοιχα, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται.

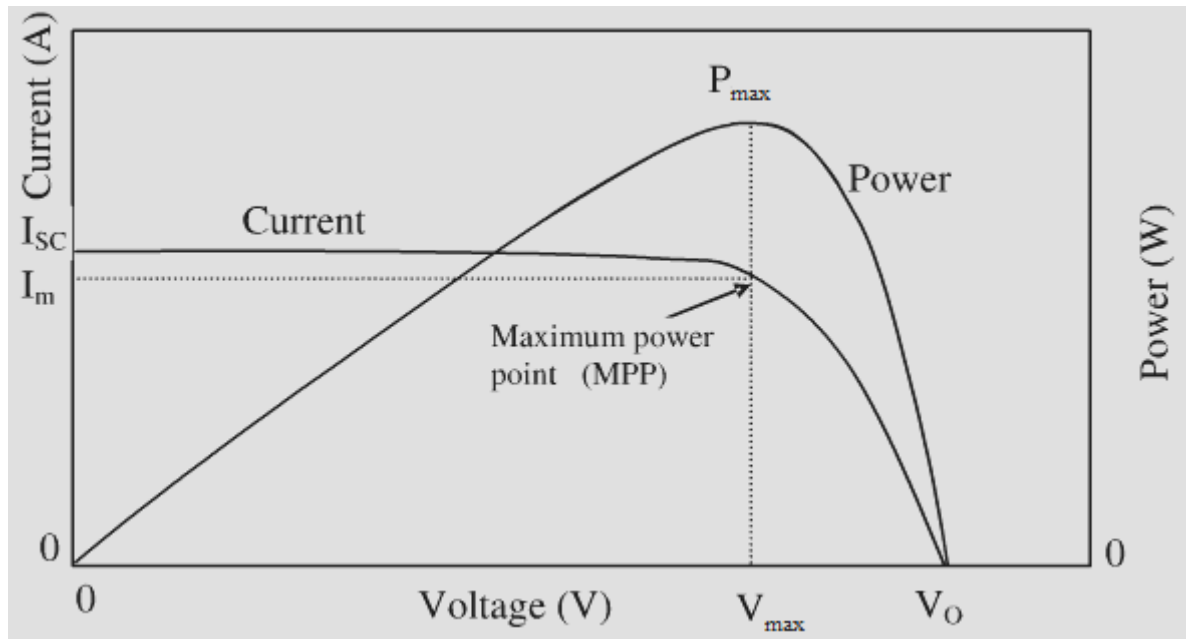


σχήμα 3.5 PV module voltage and current at varying temperature and constant irradiation

Short circuit : Είναι πιθανό δύο ακροδέκτες μιας πηγής ενέργειας ευρισκόμενοι υπό διαφορετική τάση να συνδεθούν ατυχώς με μικρή αντίσταση. Η κατάσταση αυτή περιγράφεται ως βραχυκύκλωμα (Short circuit). Αυτό που συμβαίνει είναι υψηλής έντασης ρεύμα (πάρα πολλά ηλεκτρόνια) προερχόμενα από την πηγή να κατευθυνθούν ευθέως προς αυτήν. Τότε η πηγή (π.χ. ένα PV –module) υπερθερμαίνεται με συνέπεια την τήξη των συνδέσεων.

Maximum Power Point :

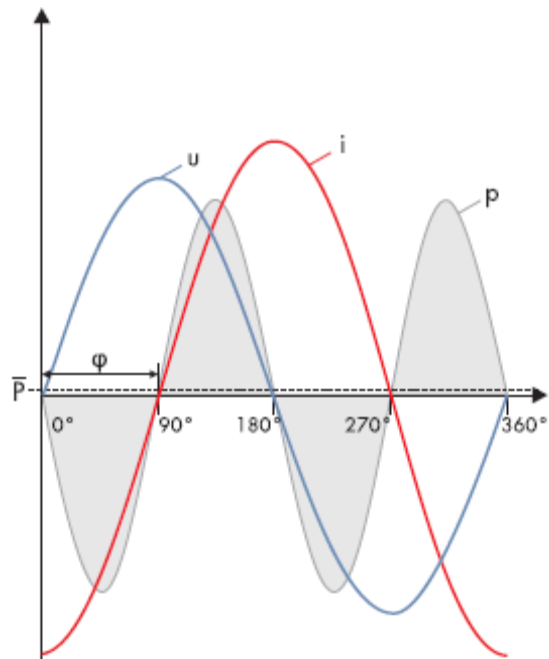
Ως **maximum power voltage** και **maximum power current** χαρακτηρίζονται εκείνα τα επίπεδα της τάσης και του ρεύματος, στα οποία το PV module αποδίδει τη μέγιστη δυνατή ισχύ (σχήμα 3.6). Τότε ακριβώς, η κατάσταση λειτουργίας του PV module χαρακτηρίζεται ως **maximum power point (MPP)**. Τα τονισμένα σημεία επί των καμπυλών στα σχήματα 3.4 και 3.5 αντιστοιχούν σε MPPs. Το MPP δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία (σχήμα 3.5) και ως εκ τούτου από το module voltage. Ο παράγων irradiation εξάλλου, και άρα το module current, επιδρά αμυδρώς στο MPP: οι μεταβολές της ακτινοβολίας στο σχήμα 3.4 έχουν ως αποτέλεσμα μια πολύ μικρή οριζόντια μετατόπιση του MPP. Η V_{MPP} area στο σχήμα 3.4 έχει πολύ μικρότερο εύρος από την αντίστοιχη περιοχή του σχήματος 3.5.



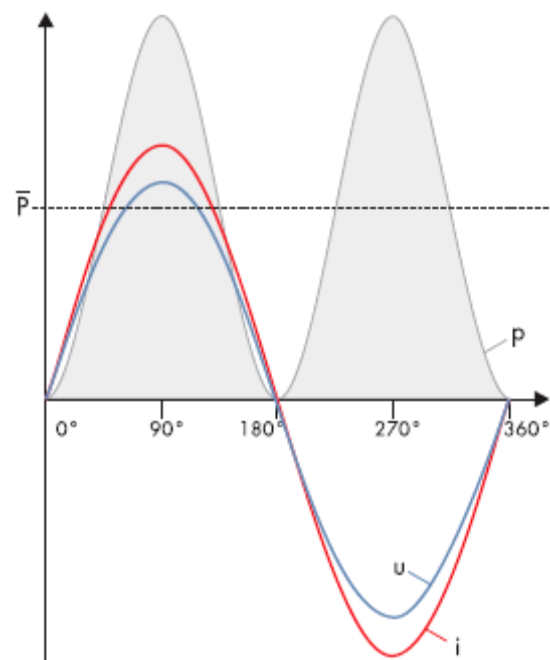
σχήμα 3.6 καμπύλες voltage- current & voltage - power

Οι γραφικές παραστάσεις του σχήματος 3.6 μας οδηγούν επίσης να κατανοήσουμε το λόγο επιλογής του όρου «maximum power point». Στο σχήμα 3.6 εξάλλου, παρατηρούμε ότι ακόμη κι όταν η τάση είναι μηδενική (η σημειούμενη με V_o), το module διαρρέεται από ρεύμα (το σημειούμενο ως I_{sc}). Αυτό είναι το λεγόμενο **short circuit current**. Είναι το ρεύμα που διατρέχει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, όταν η τάση στα άκρα του τελευταίου είναι μηδέν, δηλ. όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι βραχυκυκλωμένο.

Power Factor : Είπαμε ήδη πως ο inverter μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και τότε η τάση και το ρεύμα ακολουθούν μια ημιτονοειδή καμπύλη σαν εκείνη του σχήματος 3.3, που στην Ευρώπη έχει συχνότητα 50 Hz. Εάν μόνον ωμικές αντιστάσεις συνδέονται στο κύκλωμα, τότε η τάση και το ρεύμα παραμένουν σε φάση, ήτοι λαμβάνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή τους (σχήμα 3.7). Το γινόμενο τότε της τάσης και της έντασης του ρεύματος είναι η ενεργός ισχύς (**active power**). Η κατάσταση αυτή είναι μάλλον σπάνια, αφού συνήθως στο κύκλωμα συνδέονται πυκνωτές και πηνία, γεγονός που δημιουργεί μετατοπίσεις της φάσης. Η παρουσία πηνίων



σχήμα 3.8 Η διαφορά φάσης $\varphi = 90^\circ$ έχει ως συνέπεια μηδενική συνολική ισχύ.



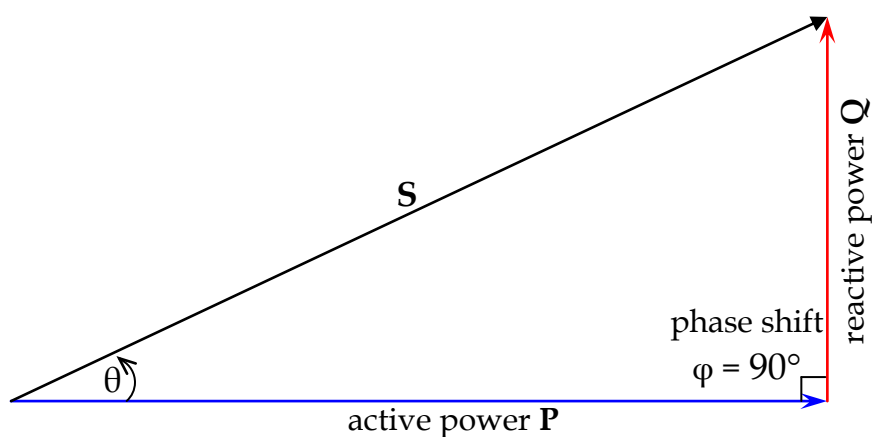
σχήμα 3.7 Η τάση και το ρεύμα είναι σε φάση με αποτέλεσμα να προκύπτει θετική, ενεργός ισχύς.

π.χ., έχει ως αποτέλεσμα την υστέρηση του ρεύματος έναντι της τάσης.

Έτσι προκύπτει διαφορά φάσης (**phase shift**) μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος, δηλ. η τάση και το ρεύμα λαμβάνουν τις ακρότατες τιμές τους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στην περίπτωση που η διαφορά φάσης είναι (+ ή -) 90° , η συνολική ενεργός ισχύς είναι 0 όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8, προκύπτει δηλ. ανενεργός ισχύς (**reactive power**). Τα κάθετα μεταξύ τους διανύσματα **P** και **Q** της ενεργού και ανενεργού ισχύος αντίστοιχα, έχουν ως συνισταμένη την φαινομενική ισχύ (**apparent power**) **S**.

Το μέτρο του **S** δίνεται από την ισότητα $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$, όπως προκύπτει από την εφαρμογή του πυθαγορείου θεωρήματος στο ορθογώνιο τρίγωνο του σχήματος 3.9.

Εάν θ είναι η γωνία που σχηματίζουν τα διανύσματα **P** και **S**, τότε ο αριθμός $\cos\theta$ είναι ο συντελεστής ισχύος (**power factor**).



σχήμα 3.9 Ως power factor ορίζεται το συνημίτονο της γωνίας θ

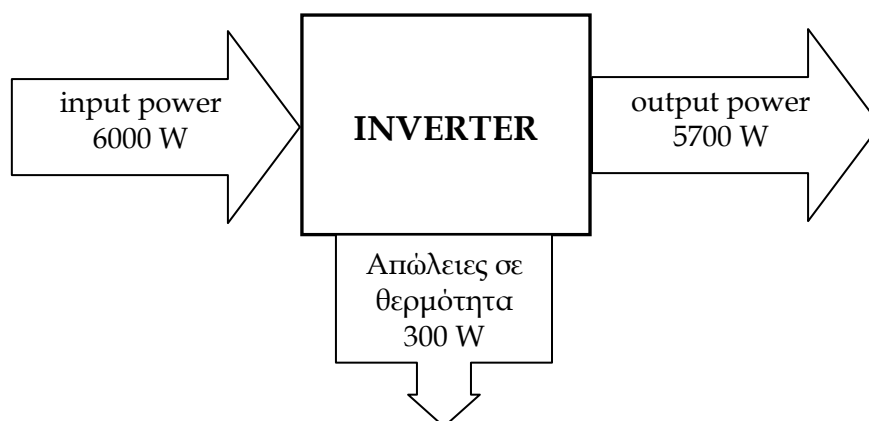
Inverter Efficiency : Γνωρίζουμε πως τον inverter συνοδεύει ένα κύκλωμα που τον τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα. Αυτό χαρακτηρίζεται από μια τάση που καλείται **input voltage**, καθώς και από μία ισχύ που καλείται **input power**. Ο inverter με τη σειρά του μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Το κύκλωμα του εναλλασσόμενου ρεύματος χαρακτηρίζεται από μίαν ισχύ που καλείται **output power**. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση (**efficiency**) ενός inverter είναι μεταξύ άλλων η θερμοκρασία, τα επίπεδα ισχύος και η input voltage.

Εάν με P_{in} και P_{out} συμβολίσουμε την input power και την output power αντίστοιχα, τότε η απόδοση του inverter ορίζεται ως το κλάσμα

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}} .$$

Για παράδειγμα, στην περίπτωση που περιγράφει το σχήμα 3.10, η απόδοση του inverter είναι

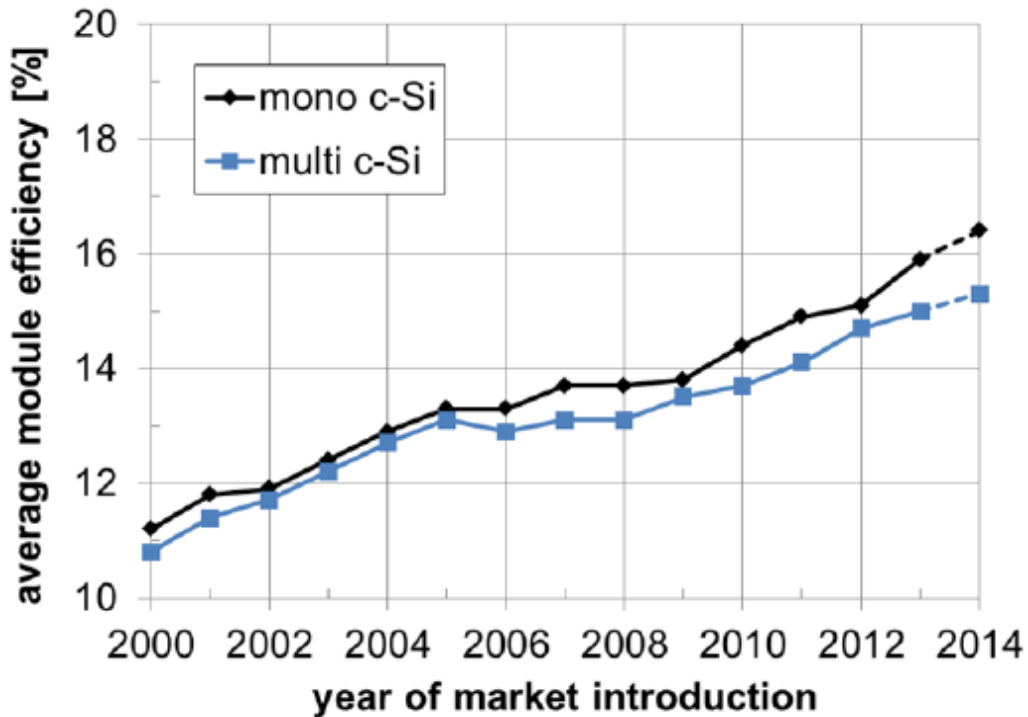
$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{5700}{6000} = 0,95 = 95\% .$$



σχήμα 3.10

Ο παράγων efficiency των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνδυασμό με το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα, καθορίζουν την ενέργεια που ετησίως αποδίδει ένα PV σύστημα. Εάν ένα panel μπορεί και αποδίδει μια ποσότητα ισχύος σε Standard Test Conditions, είναι δυνατό να αυξήσει την απόδοσή του σε περιόδους υψηλών τιμών ηλιοφάνειας και όταν οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα στο panel ή να μειώσει την απόδοσή του σε περιόδους που ο ουρανός είναι νεφελώδης ή ο ήλιος είναι χαμηλά.

Οι απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Έτσι, η απόδοση αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα αφού αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.



σχήμα 3.11 Η μέση απόδοση των PV modules (mono και multi - crystalline solar cells) στη Γερμανία.

Fill Factor : Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος των solar cells είναι ο συντελεστής πλήρωσης που σχετίζεται με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Αναφορικά με το σχήμα 3.6, θεωρούμε το ορθογώνιο βάσης V_o και ύψους I_{sc} , καθώς και το ορθογώνιο βάσης V_{max} και ύψους I_m . Ας είναι E το εμβαδόν του πρώτου και ε το εμβαδόν του δεύτερου ορθογωνίου. Τότε ο συντελεστής πλήρωσης υπολογίζεται από τη σχέση

$$\eta_{ff} = \frac{\varepsilon}{E} = \frac{V_{max} \cdot I_m}{V_o \cdot I_{sc}} .$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

4.1 Γενικά Είπαμε ήδη πως ο βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα ορίζεται ως το πηλίκο

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου και μας πληροφορεί για το ποσοστό της ισχύος που χάνεται λόγω απωλειών στον αντιστροφέα.

Τυπικές τιμές απόδοσης αντιστροφέων είναι της τάξης του 92-94% για inverters με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας, 94-96% για inverters με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας και 96-98,5% για inverters χωρίς μετασχηματιστή. Οι παραπάνω τιμές καταγράφονται ως **nominal efficiency** (ονομαστική απόδοση) στα τεχνικά φυλλάδια και έχουν μετρηθεί απ' τον εκάστοτε κατασκευαστή σε συγκεκριμένες συνθήκες. Δεδομένου ότι η απόδοση έχει άμεση σχέση με το κόστος, θεωρείται από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη απ' τον αγοραστή ή τον εγκαταστάτη μηχανικό.

Ο βαθμός απόδοσης των inverters δίνεται σε διαγράμματα από τους κατασκευαστές και στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τέτοια διαγράμματα για inverters από τη δική μας βάση δεδομένων. Ο οριζόντιος άξονας των εν λόγω διαγραμμάτων φέρει είτε τιμές της ισχύος εξόδου P_{AC} , είτε τιμές της τυποποιημένης ισχύος εξόδου $P_{AC}/P_{nominal}$ (standardized output power).

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς και στα διαγράμματα που ακολουθούν, ο βαθμός απόδοσης των inverters παρουσιάζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τον μελετητή μηχανικό ο οποίος θα πρέπει να εξετάζει αν η λειτουργία του εκάστοτε αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Είναι πιθανό κάποιοι inverters να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Απ' την άλλη μεριά, κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται. Είναι λοιπόν δυνατό σε κάποιους inverters να παρατηρηθούν απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ και γενικά της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας καθώς και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν

επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο

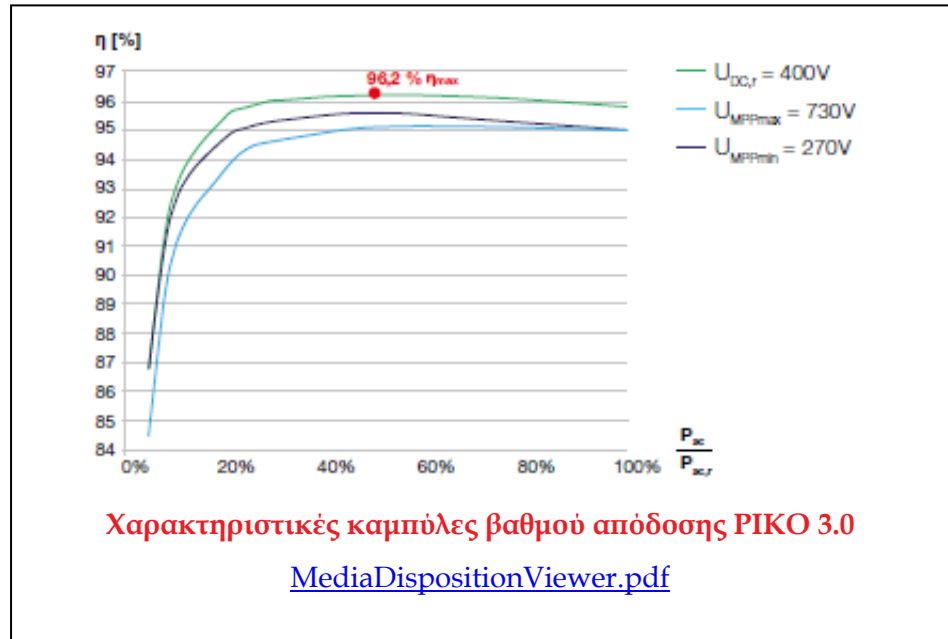
οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει των αποδόσεων σε κάποια φορτία, εκφρασμένων σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

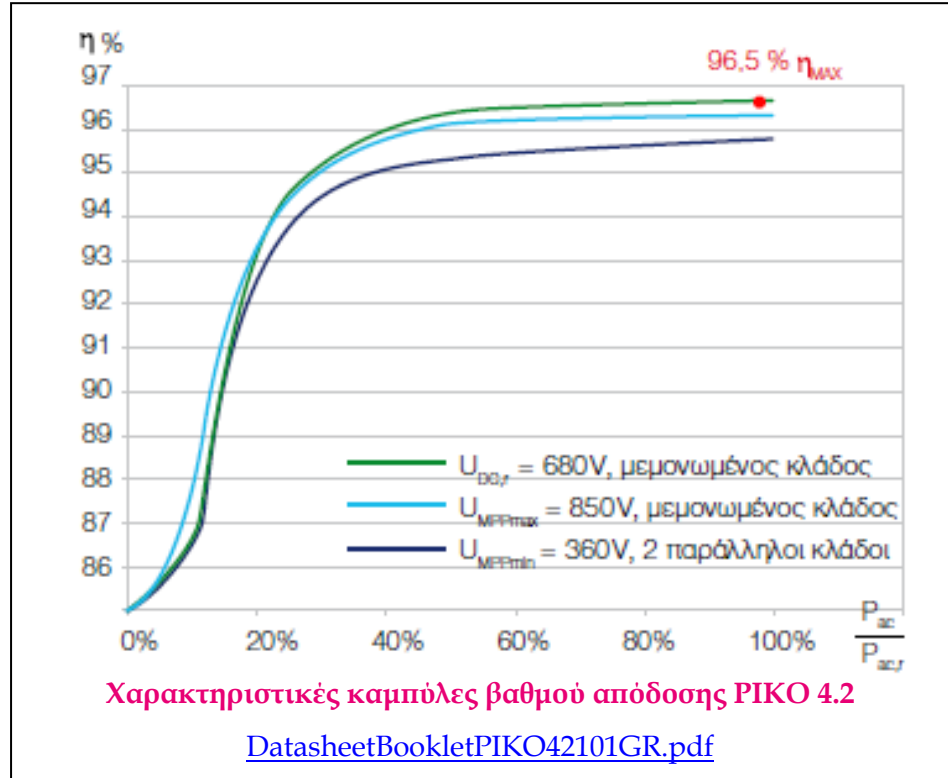
όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης που έχει μετρηθεί και δίνεται κάθε φορά από τους κατασκευαστές, διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% .

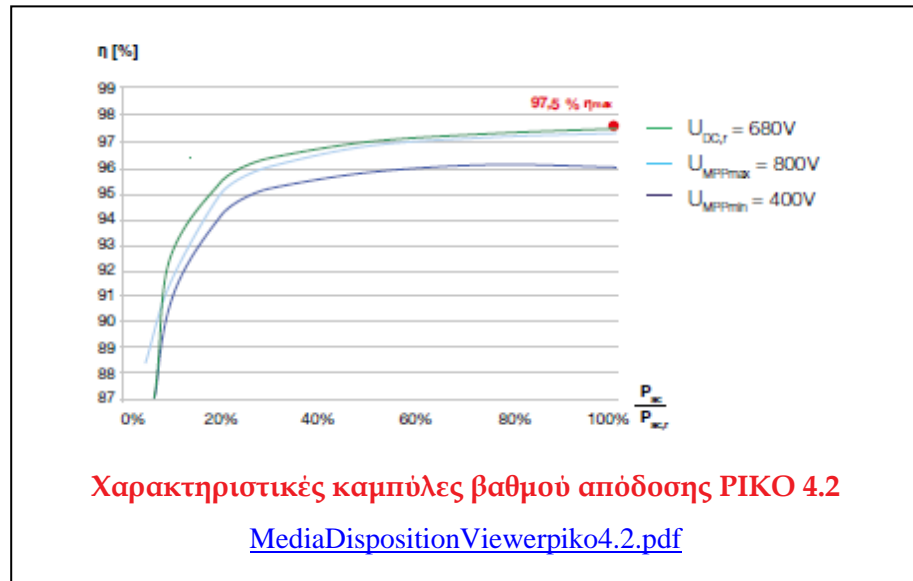
4.2 Μοντέλα της KOSTAL Solar Electric www.kostal-solar-electric.com

1.

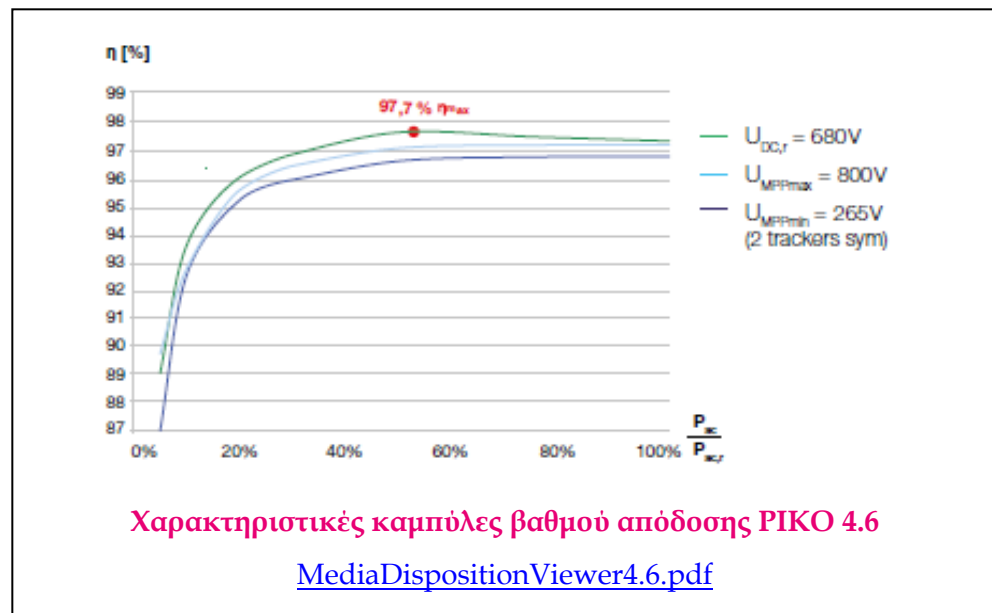


2.

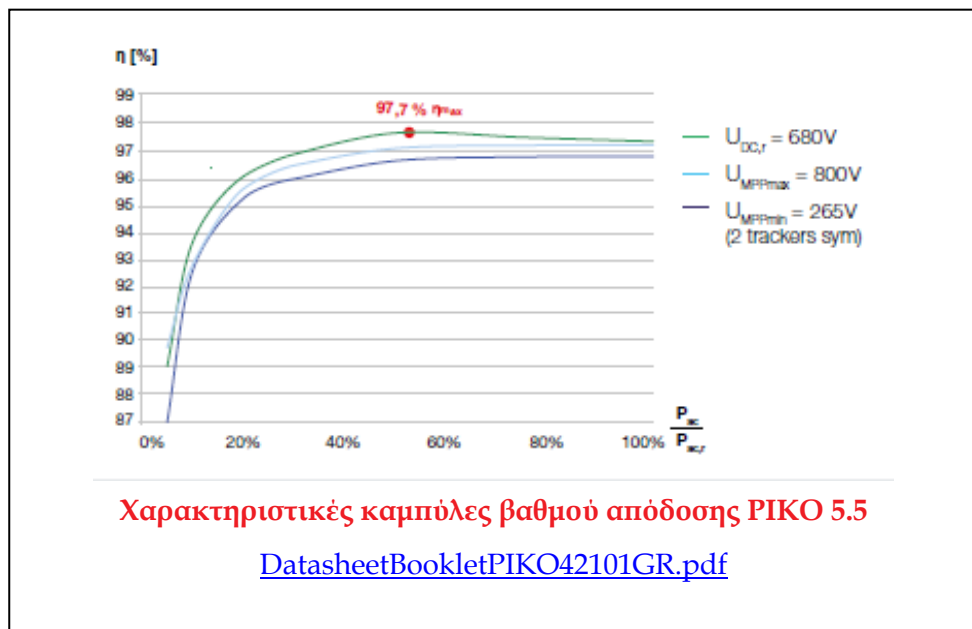
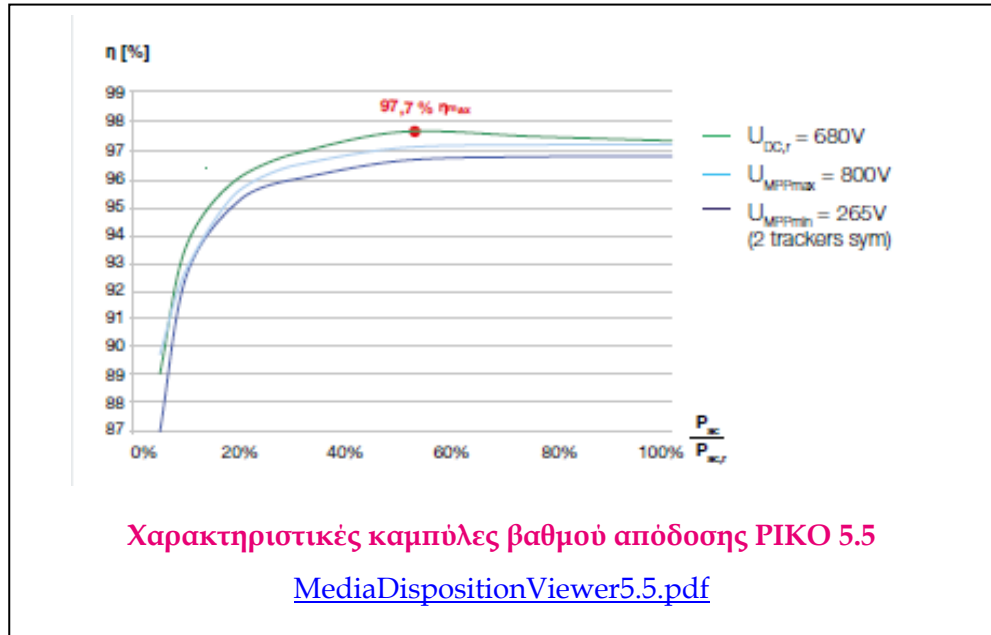


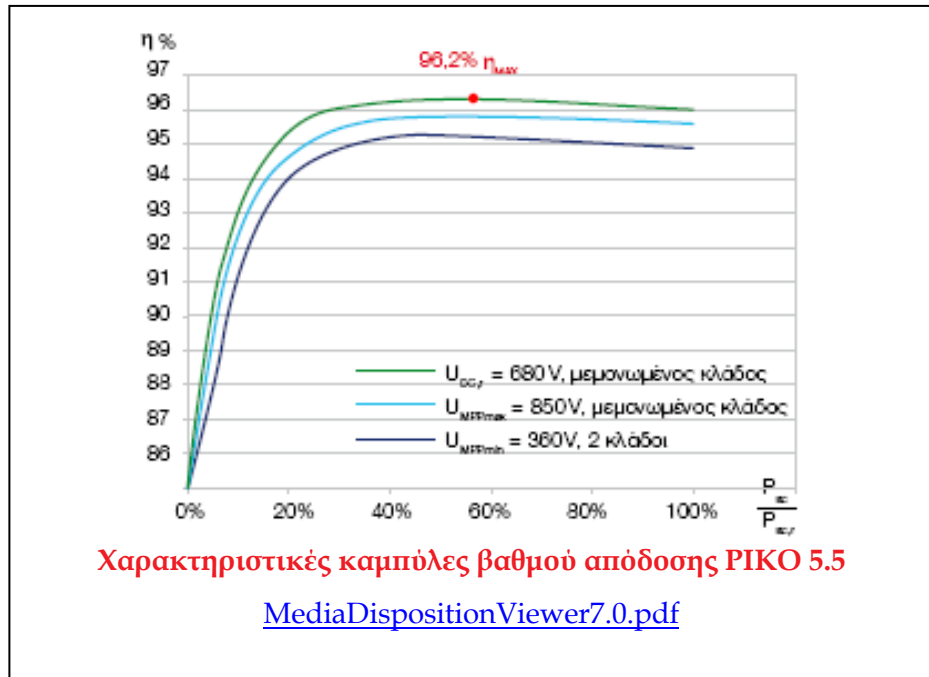


3.

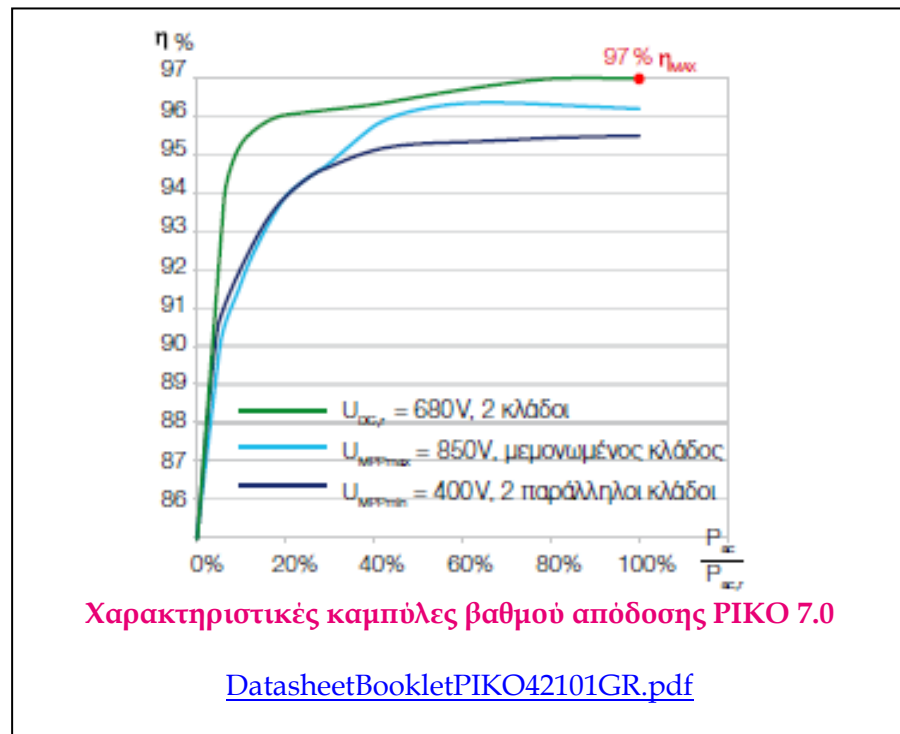


4.

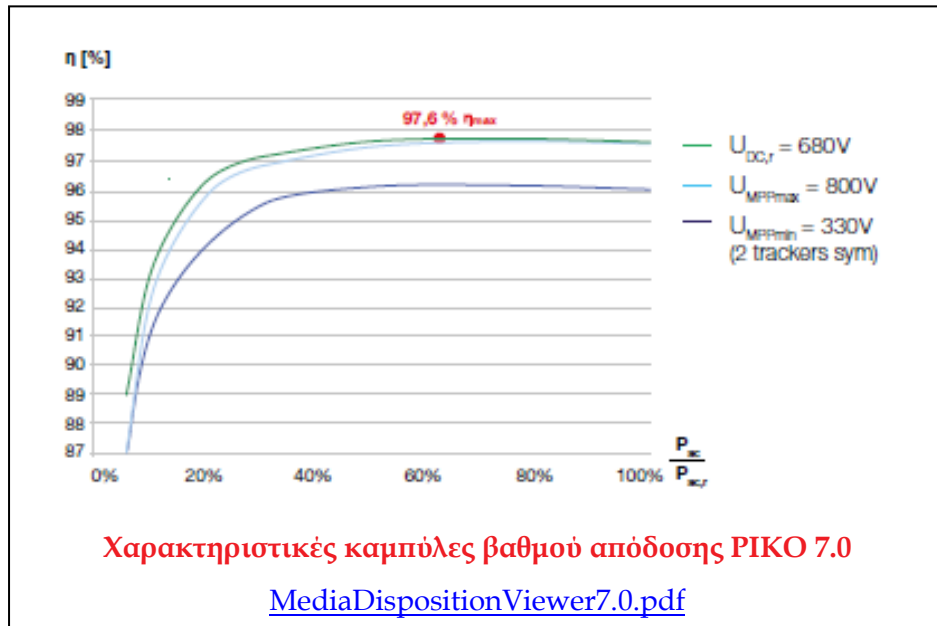




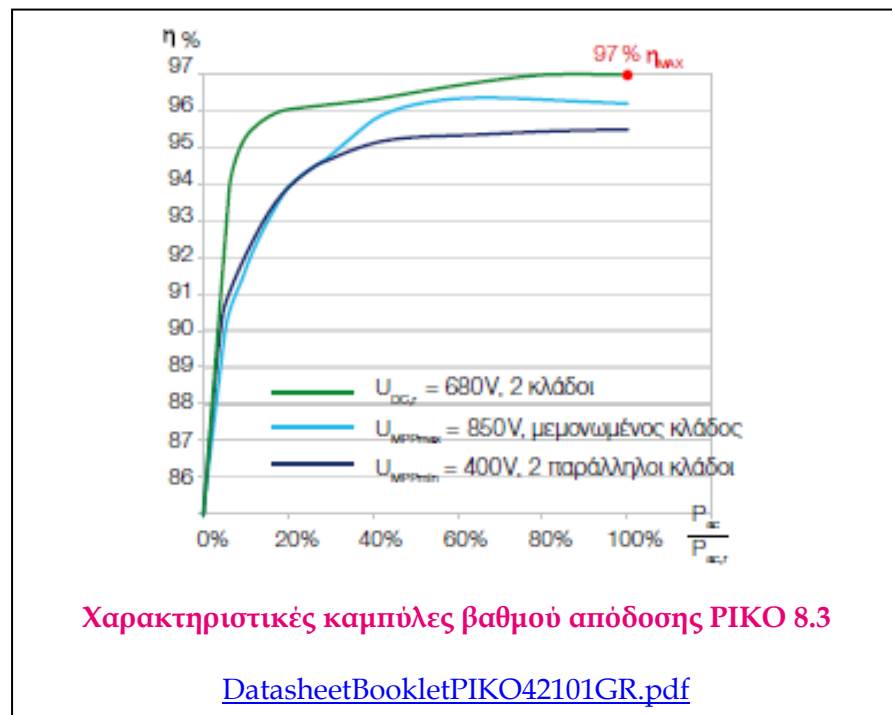
5.



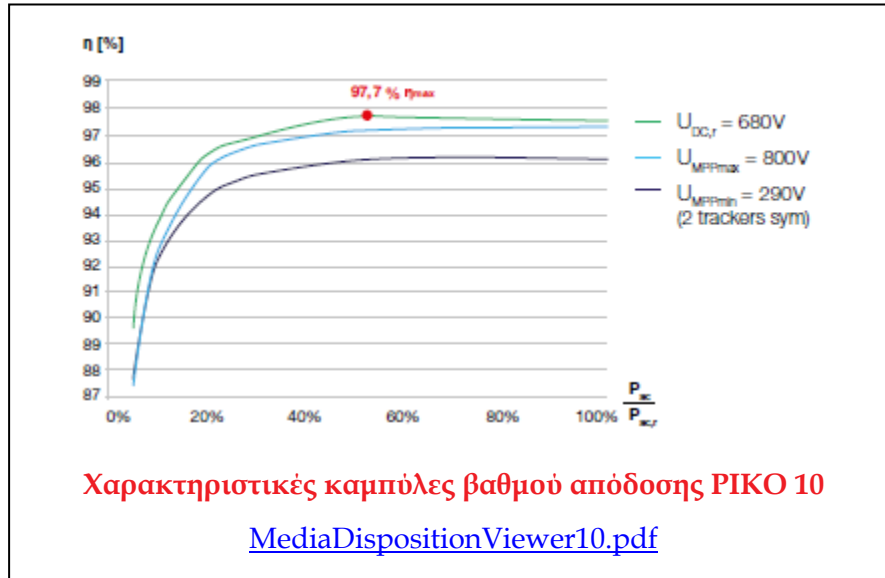
6.



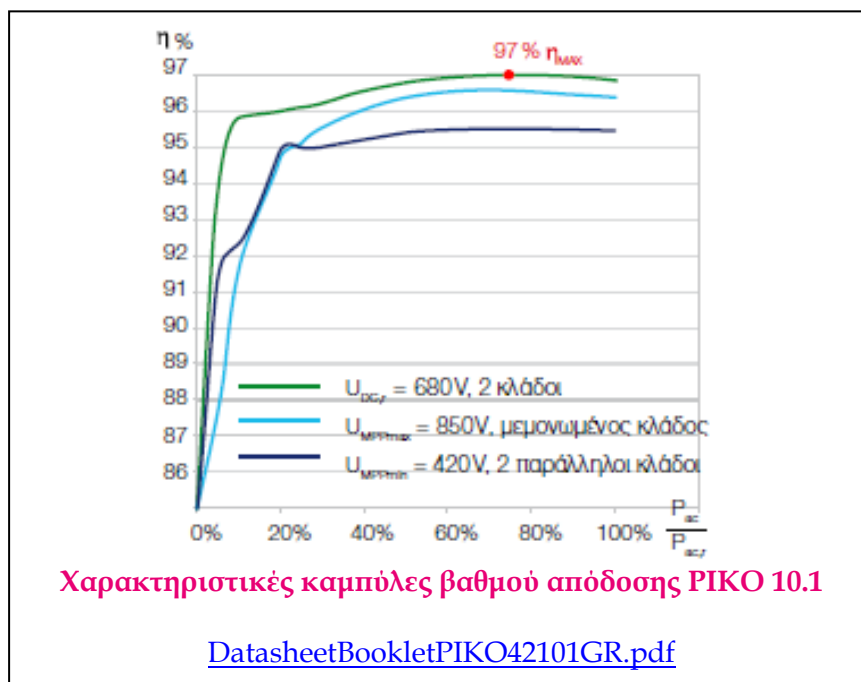
7.



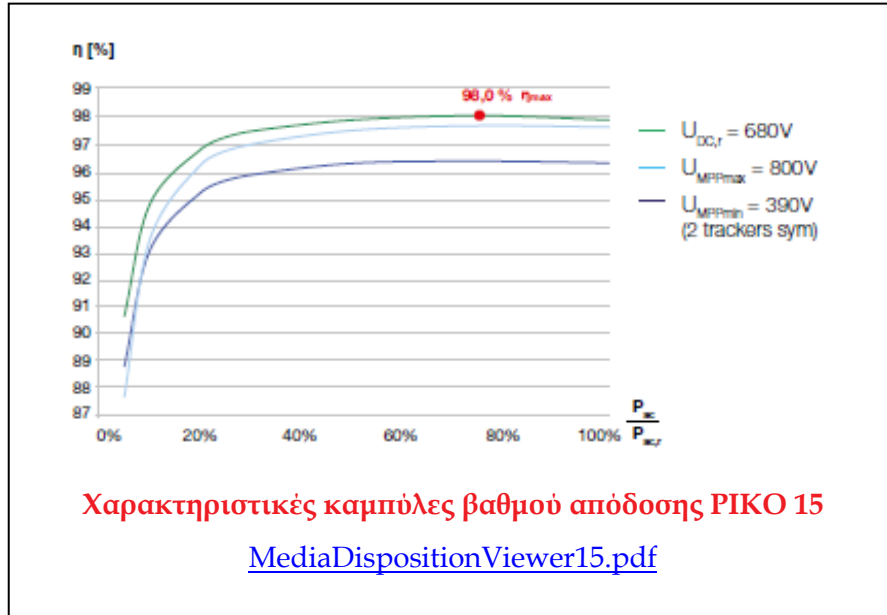
8.



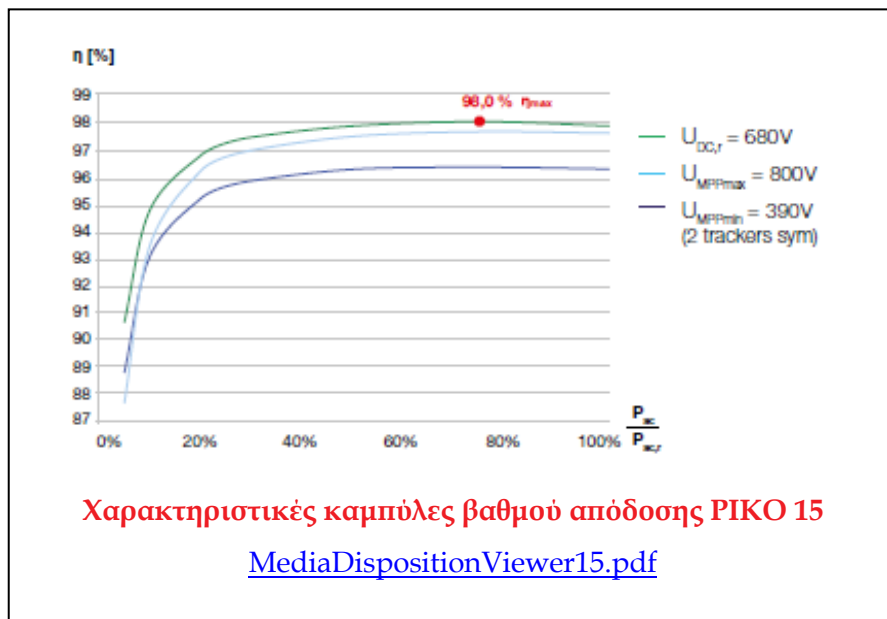
9.



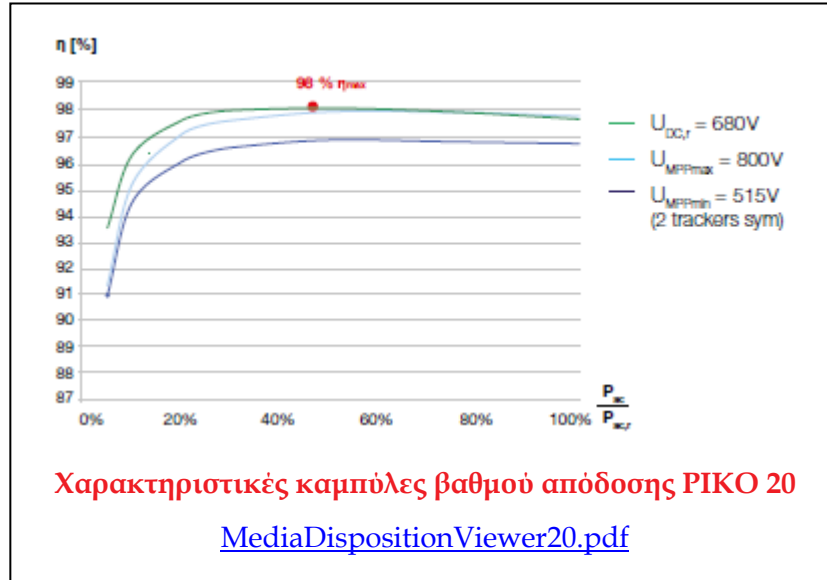
10.



11.



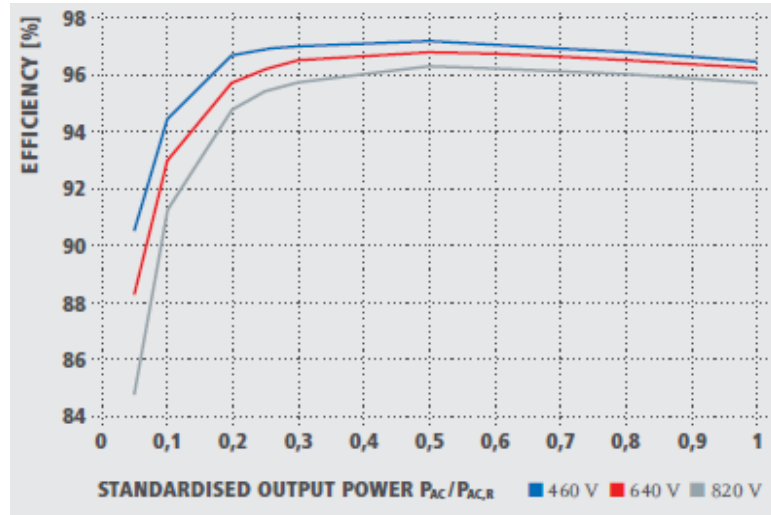
12.



4.3 Μοντέλα της FRONIUS

www.fronius.com

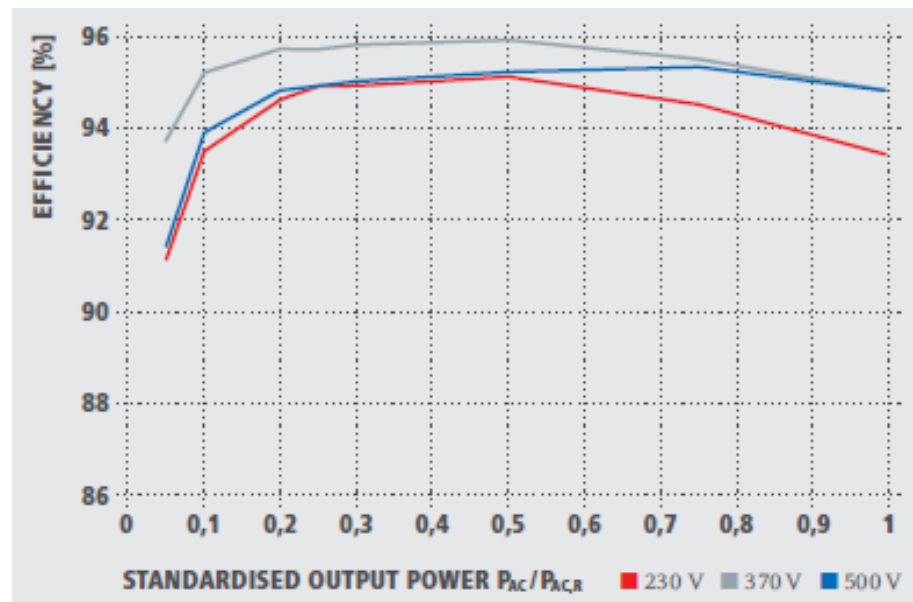
13.



Fronius AGILO 100.0-3 efficiency curve

[DBL Fronius Agilo M 06 0047 EN 0414 as15 low 265102 snapshot.pdf](#)

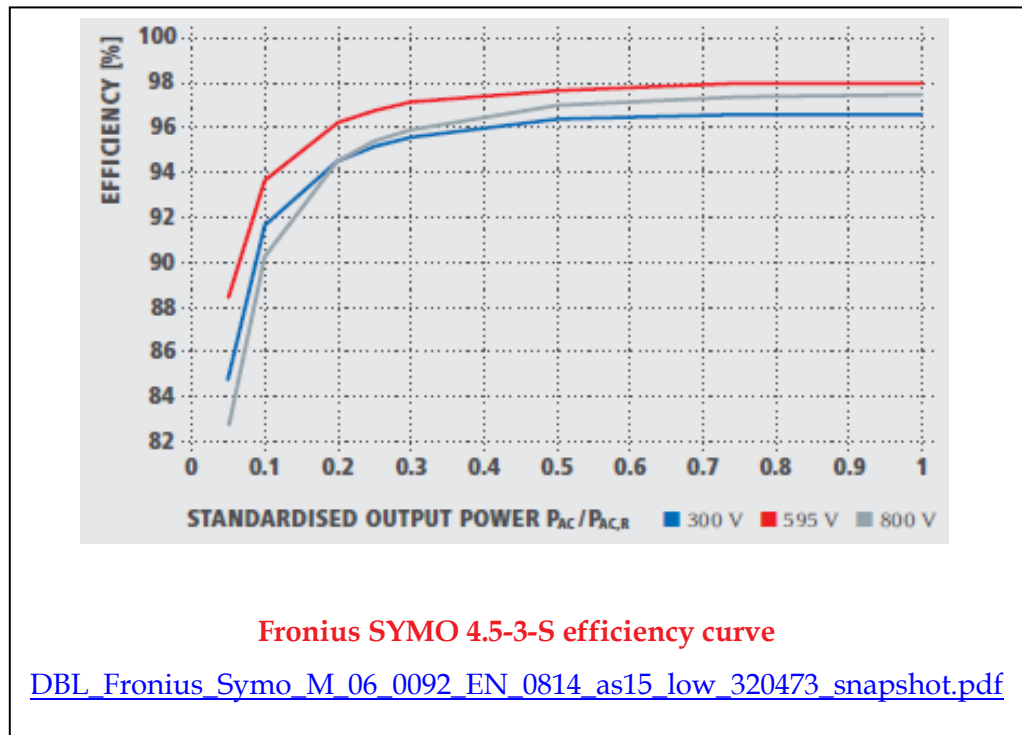
14.



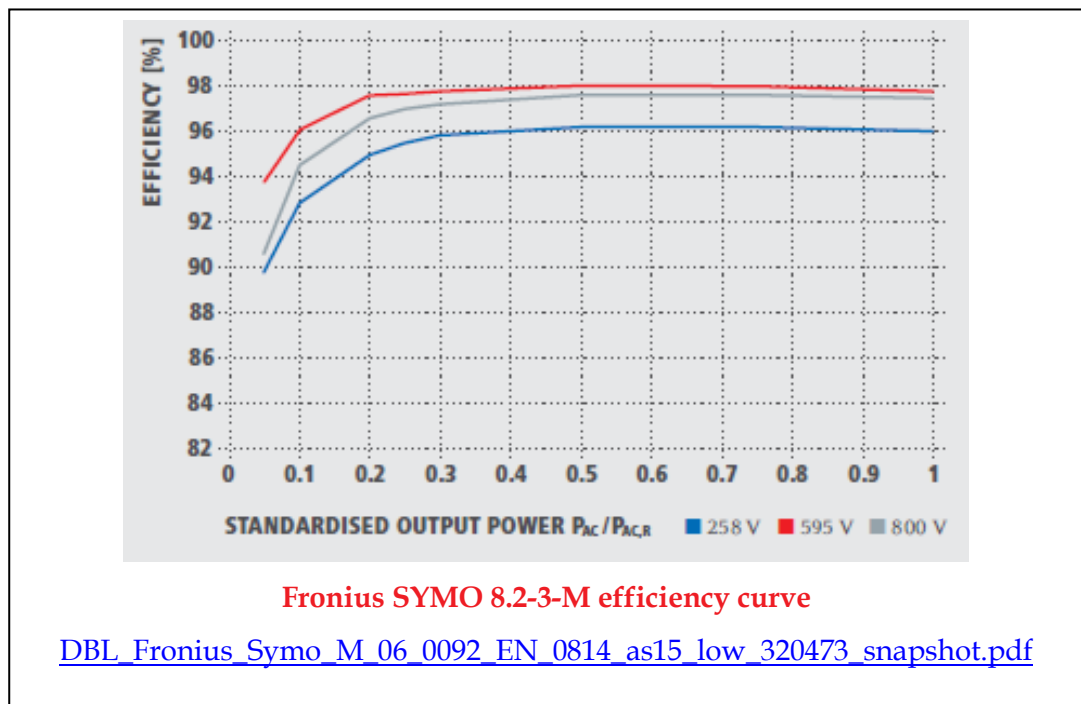
Fronius CL 60.0 efficiency curve

[DBL Fronius CL M 06 0011 EN 0113 as13 low 152982 snapshot.pdf](#)

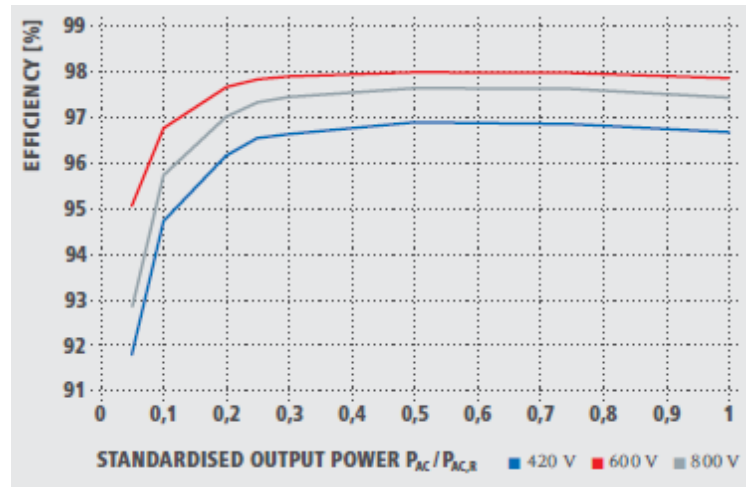
15.



16.



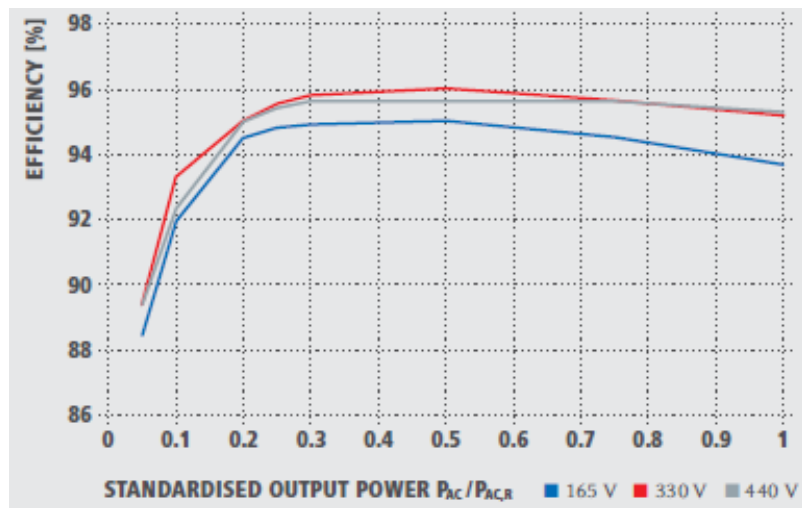
17.



Fronius SYMO 20.0-3-M efficiency curve

[DBL Fronius Symo M 06 0092 EN 0814 as15 low 320473 snapshot.pdf](#)

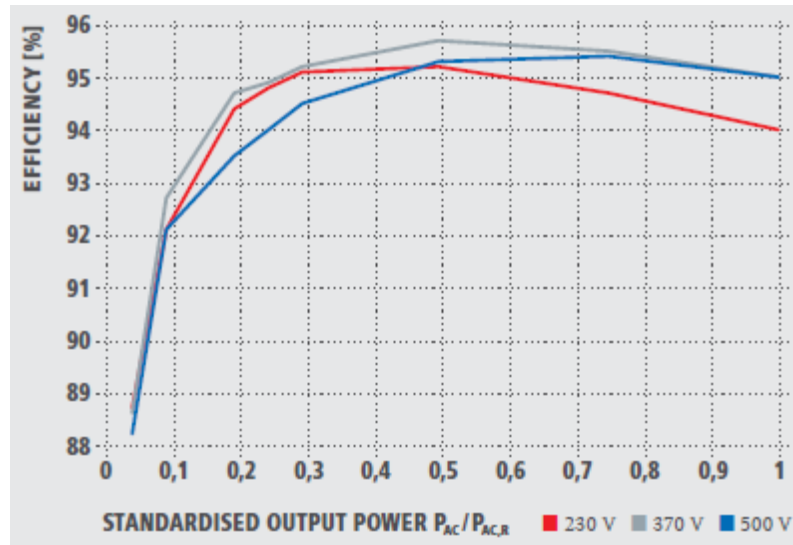
18.



Fronius GALVO 3.1-1 efficiency curve

[Fronius Galvo Technical Data.pdf](#)

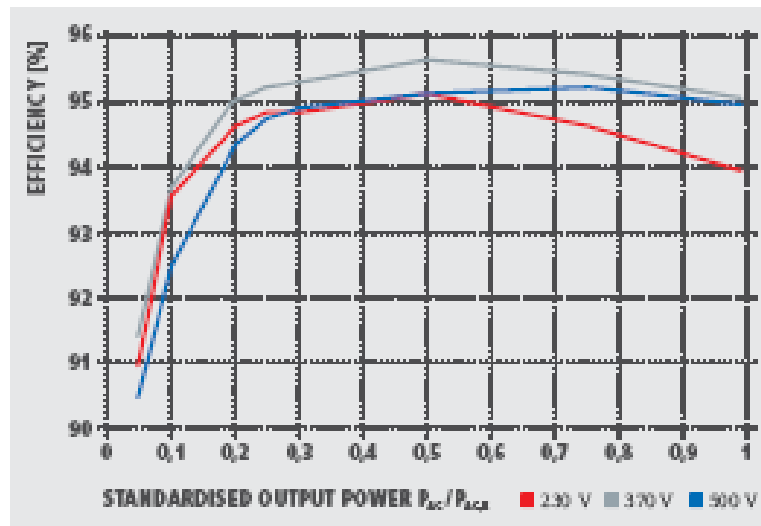
19.



Fronius IG Plus 50 V-1 efficiency curve

[SE_DS Fronius IG Plus EN_40_0006_3091_EN_156927_snapshot.pdf](#)

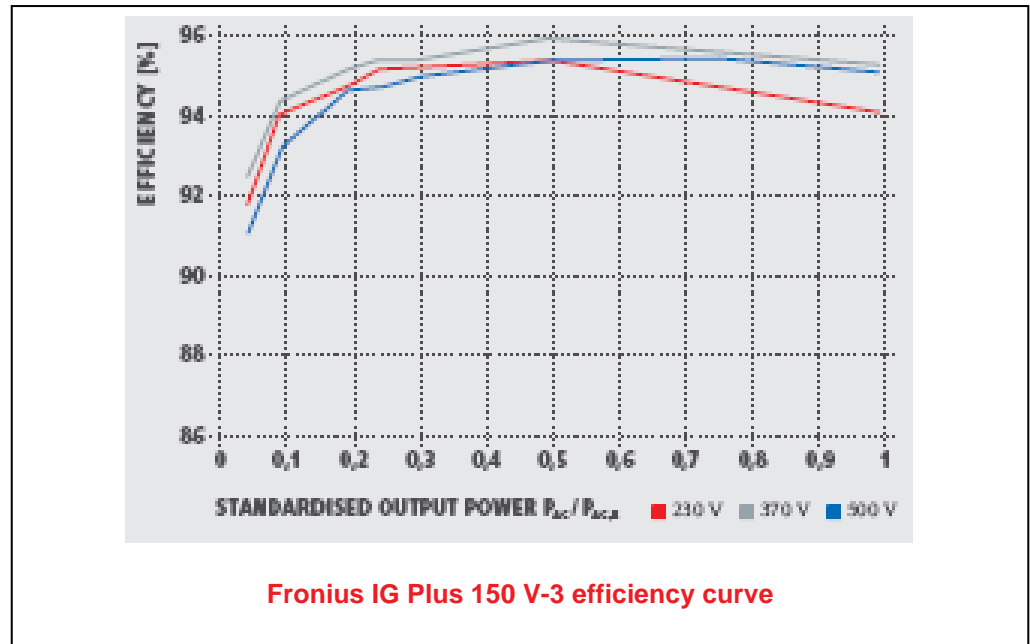
20.



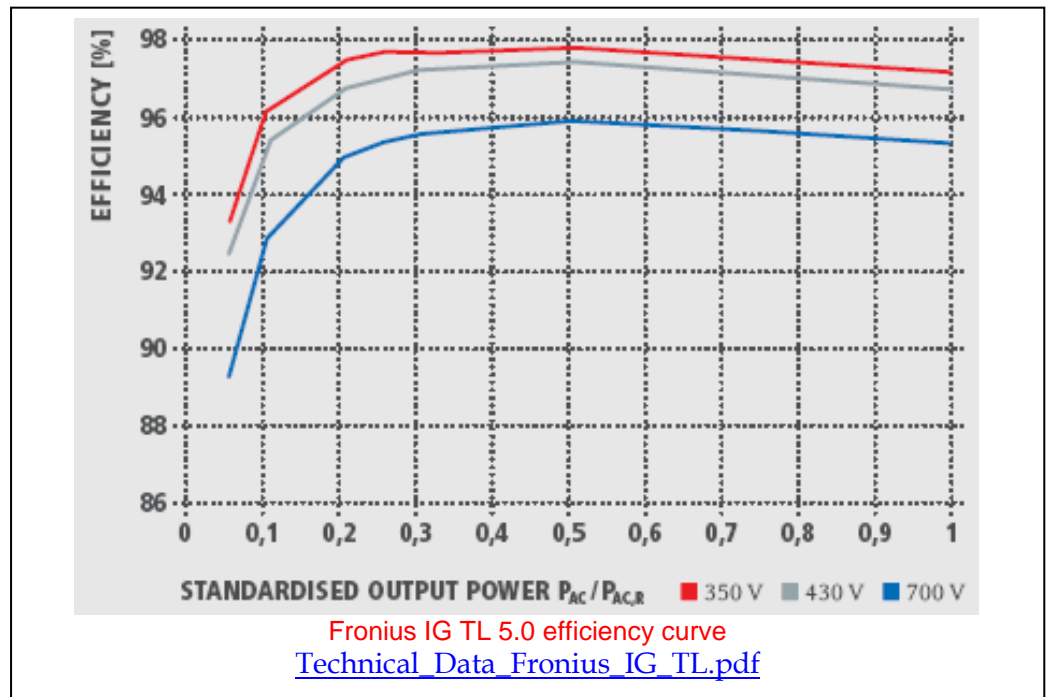
Fronius IG Plus 100 V-2 efficiency curve

[SE_DS Fronius IG Plus EN_40_0006_3091_EN_156927_snapshot.pdf](#)

21.



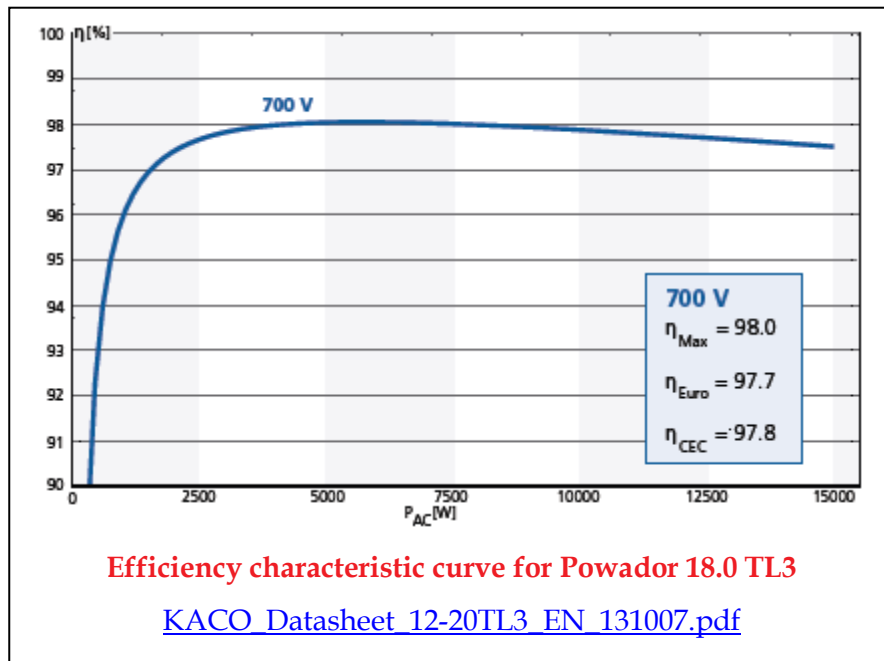
22.



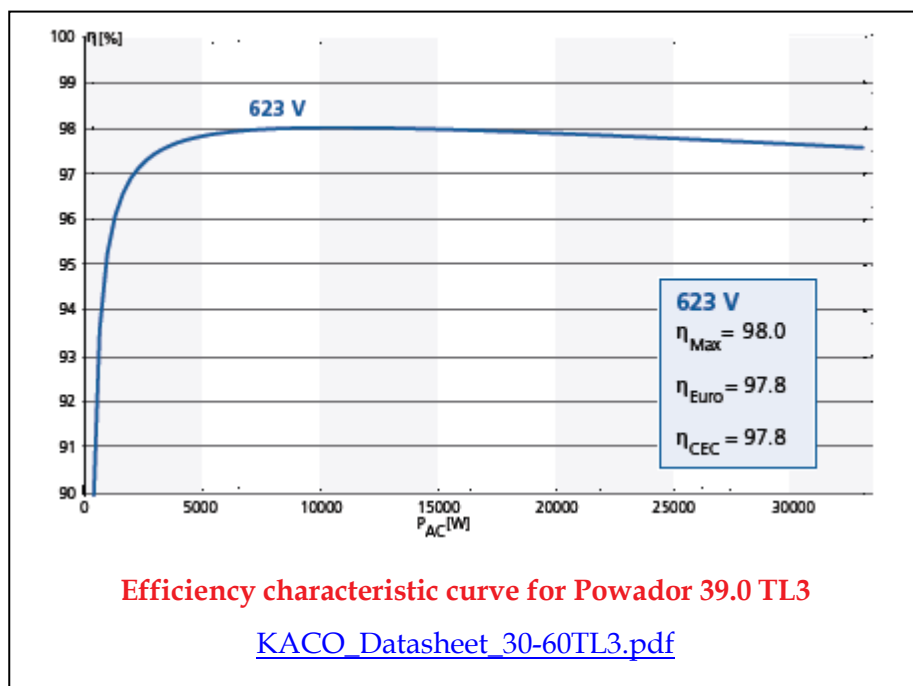
4.4 Μοντέλα της KACO

www.kaconewenergy.com

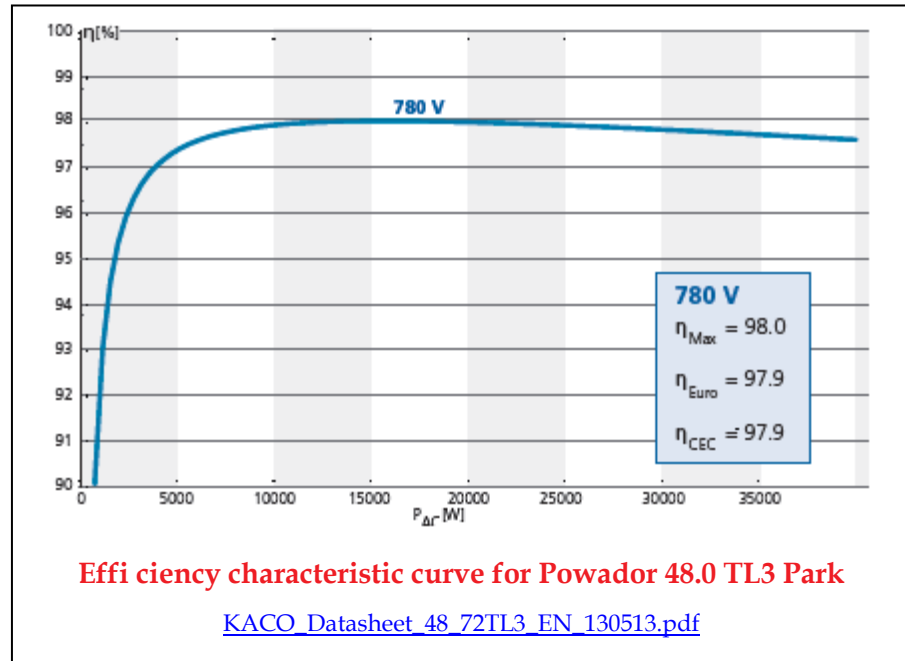
23.



24.



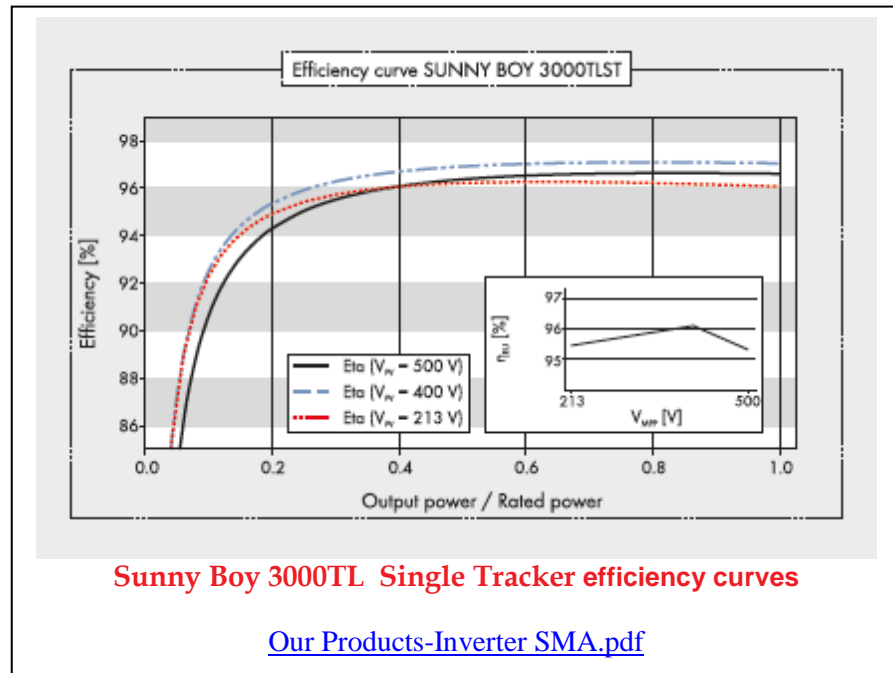
25.



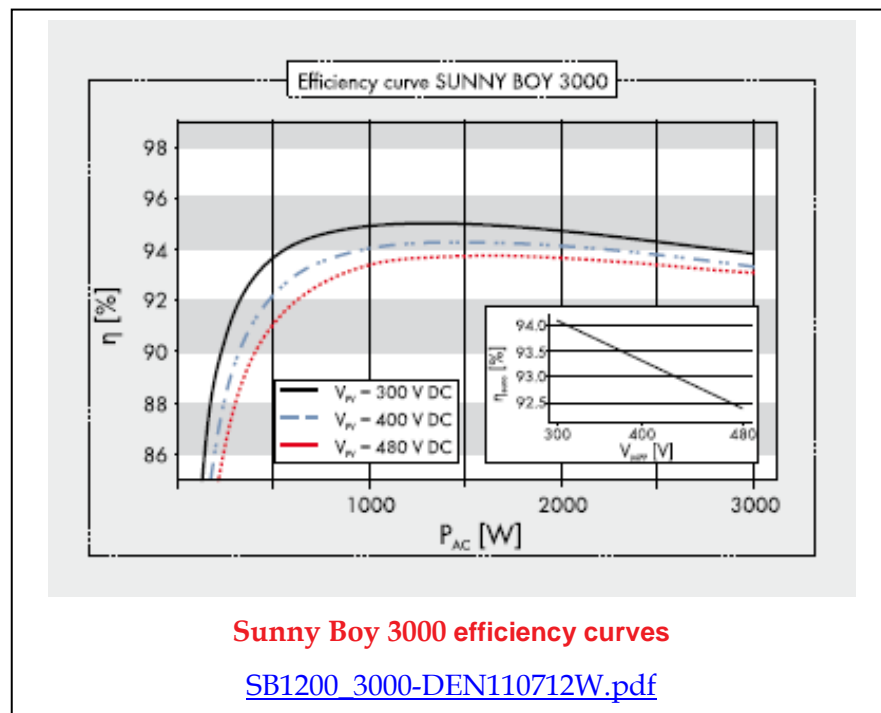
4.5 Μοντέλα της SMA Solar Technology

www.SMA-Solar.com

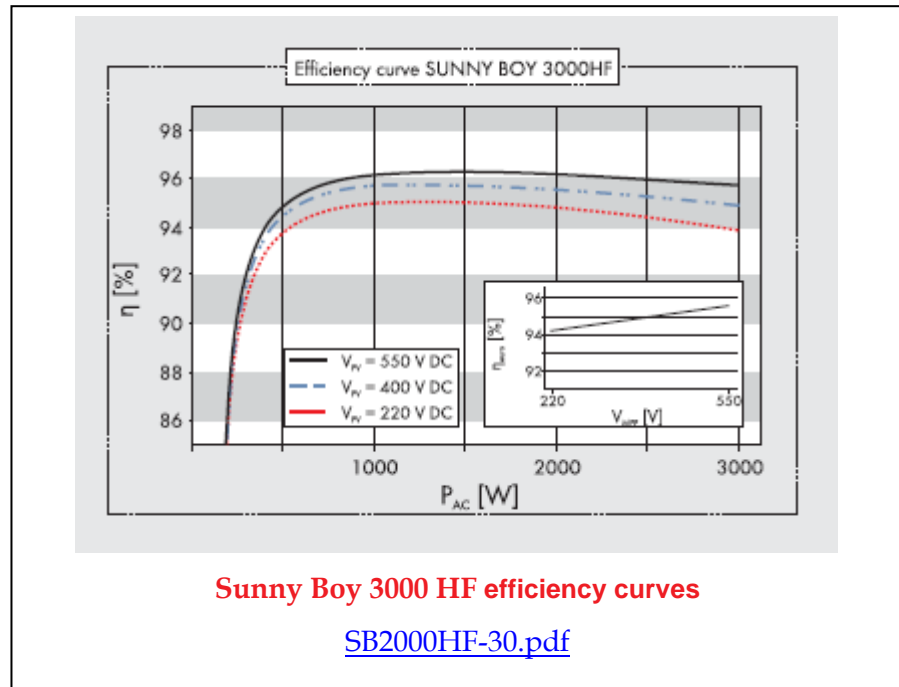
26.



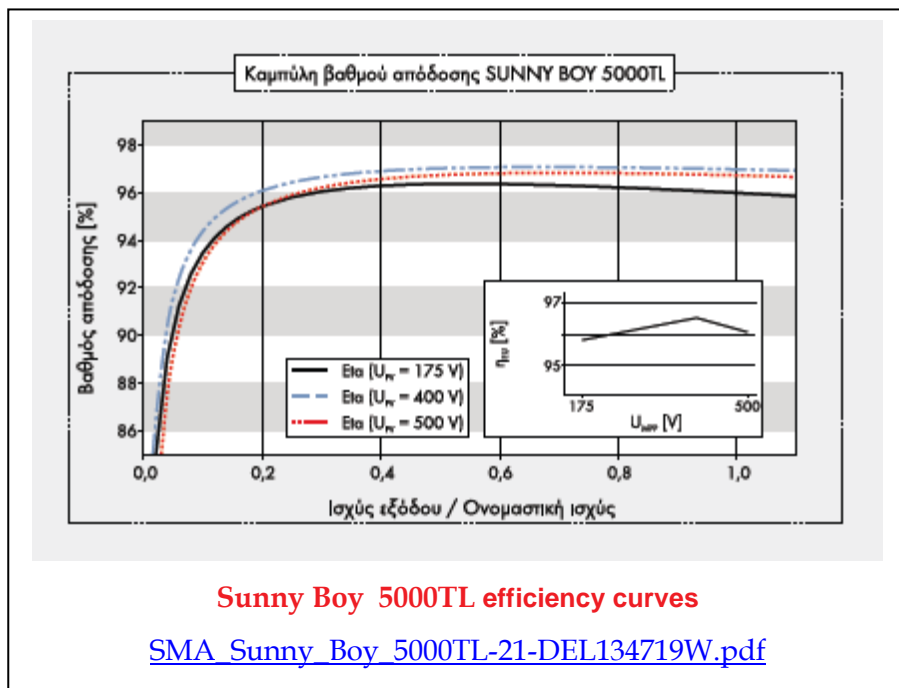
27.



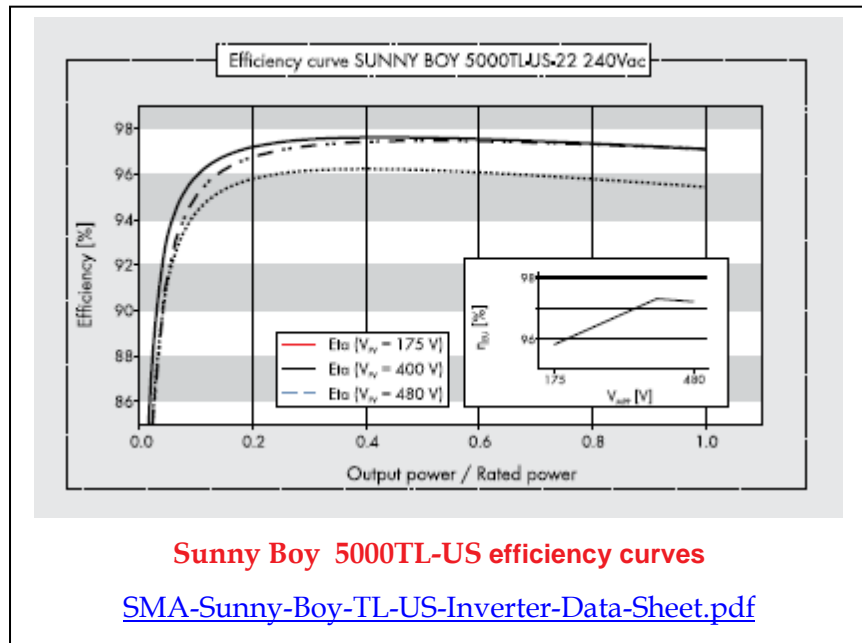
28.



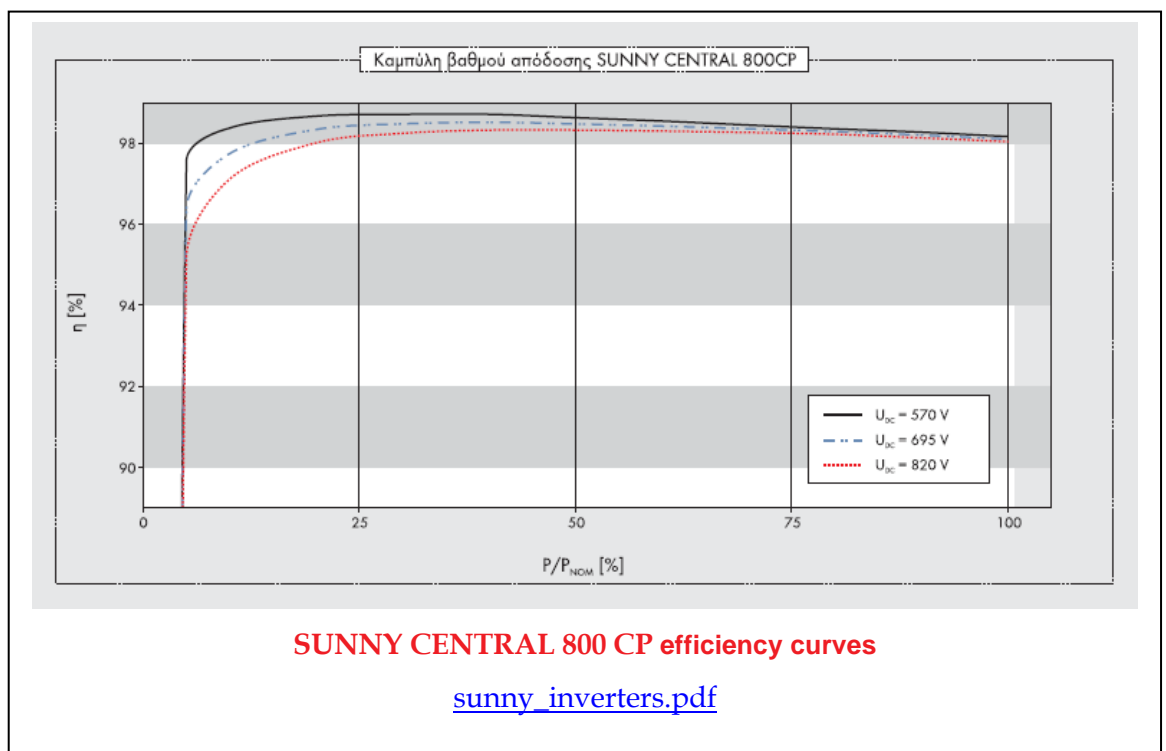
29.



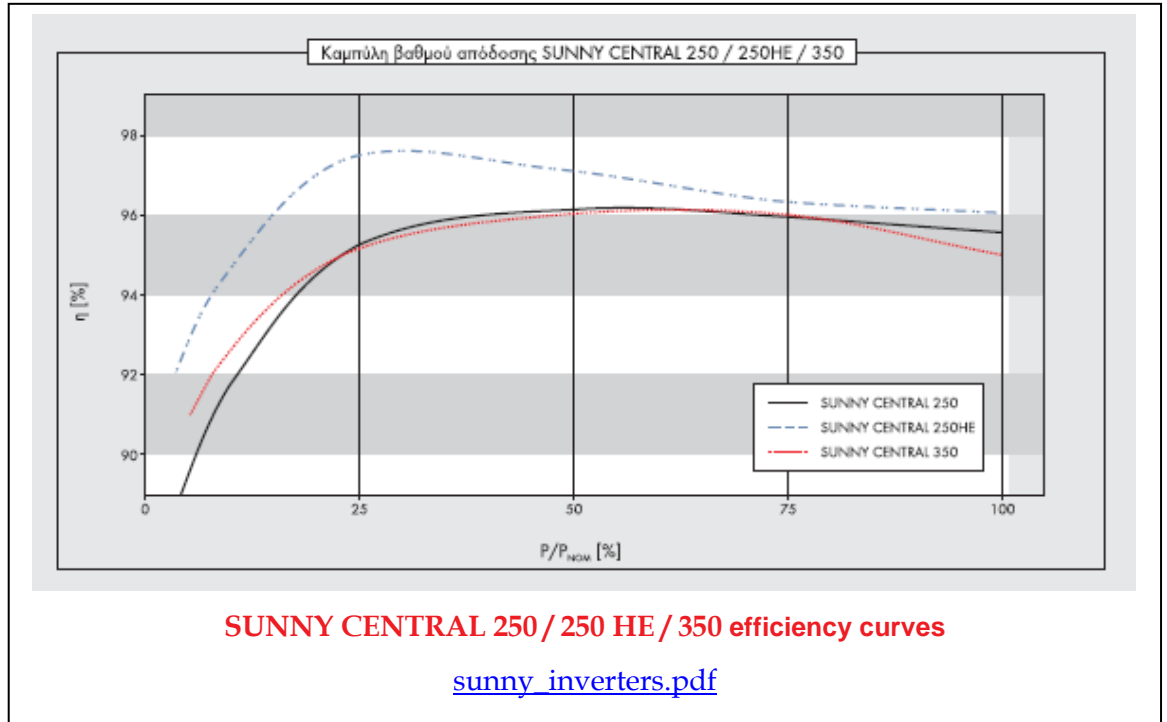
30.



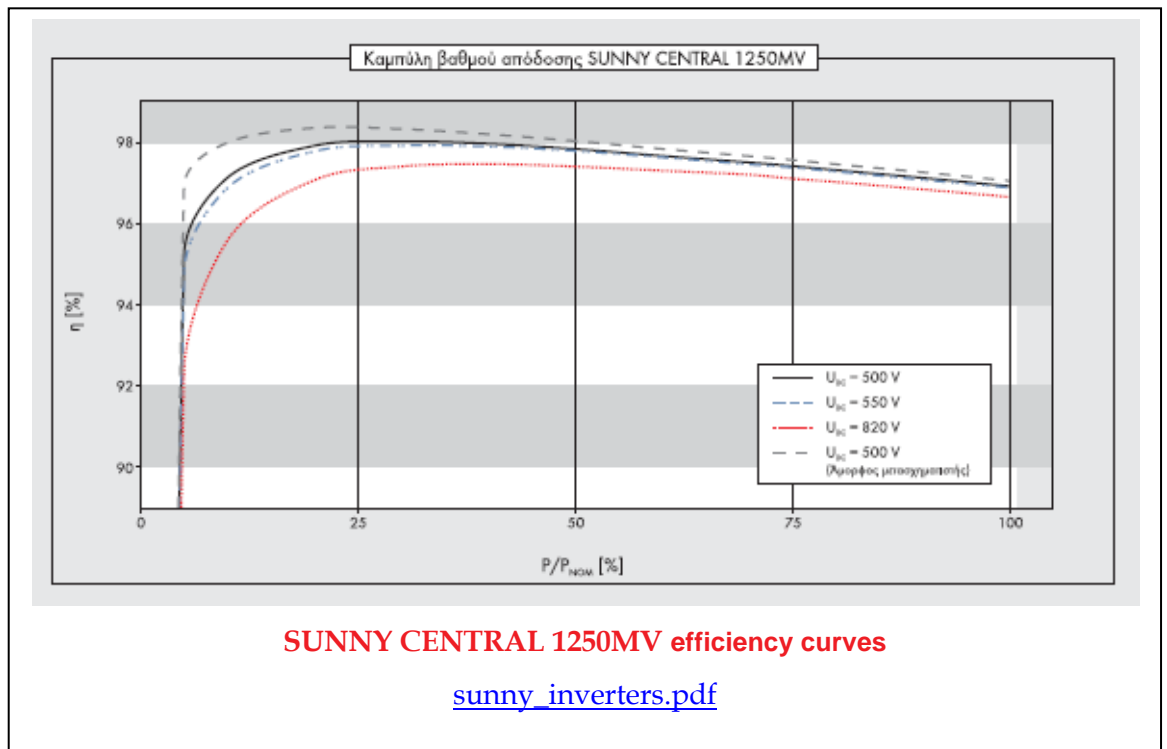
31.



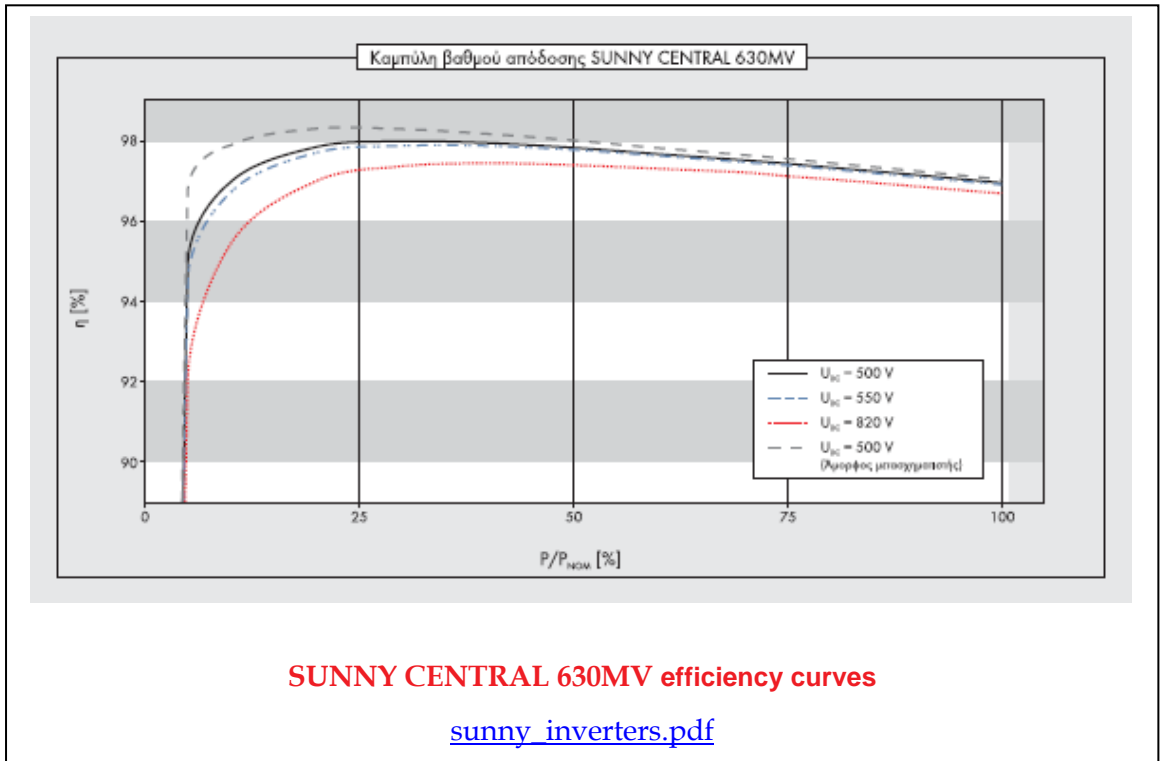
32.



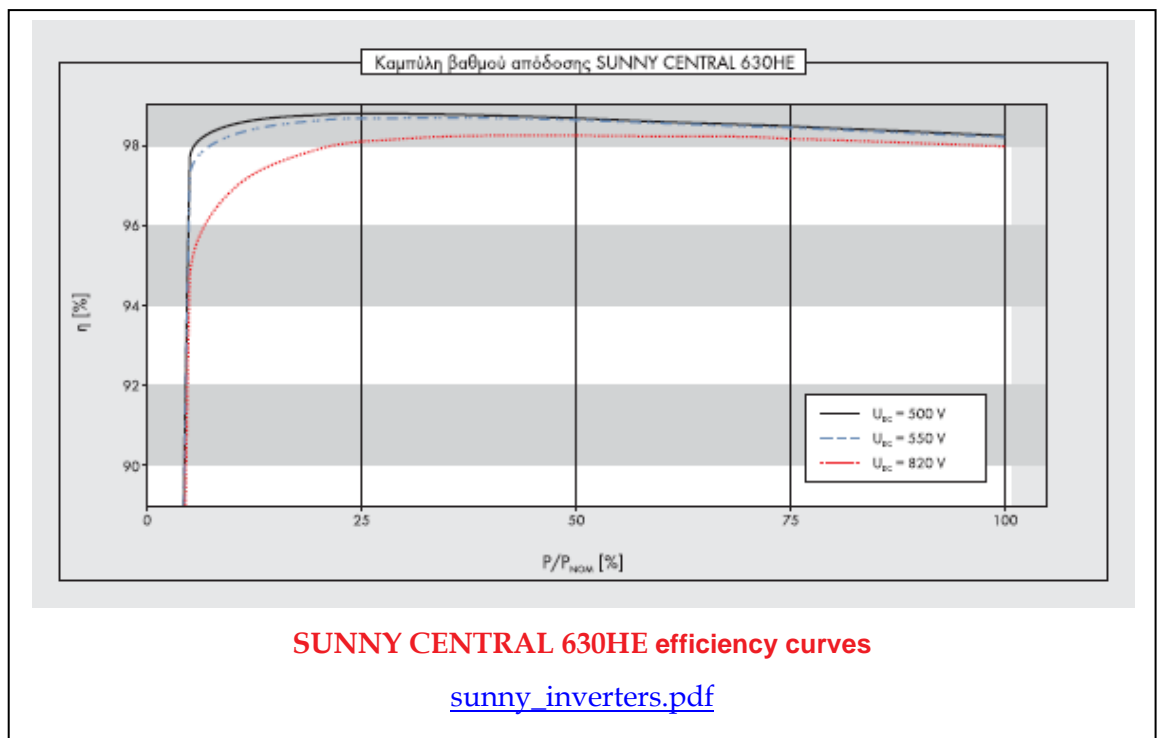
33.



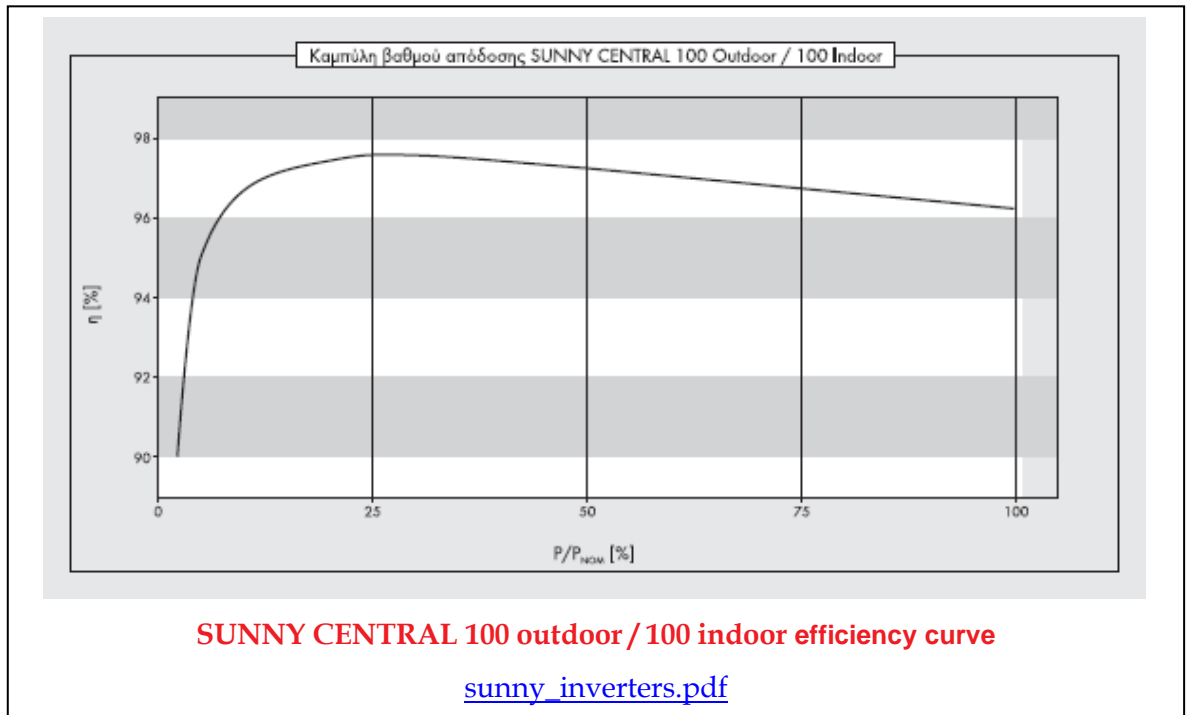
34.



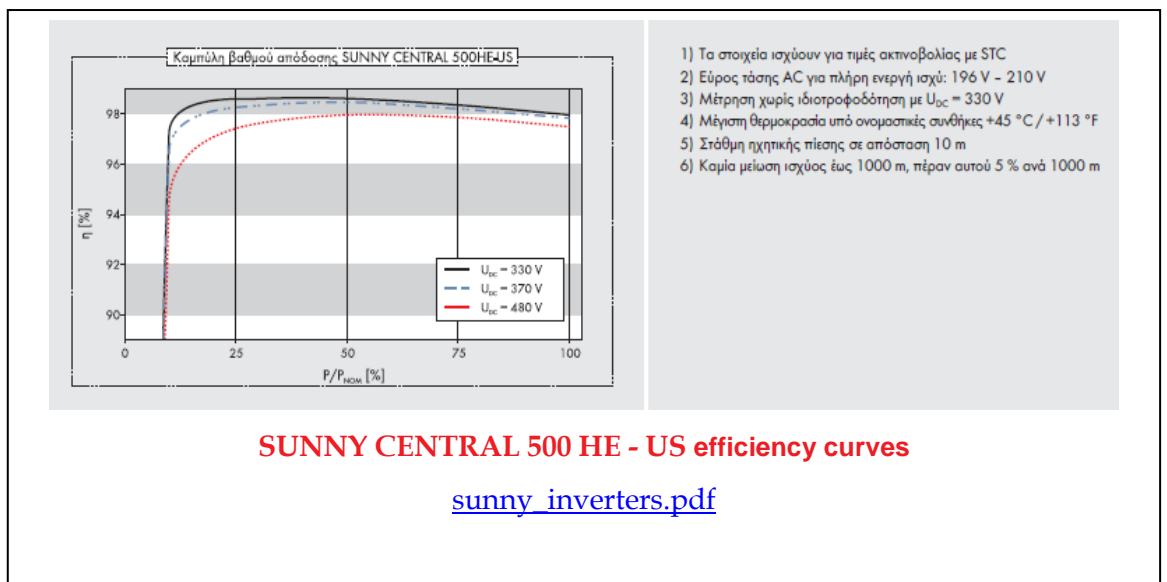
35.



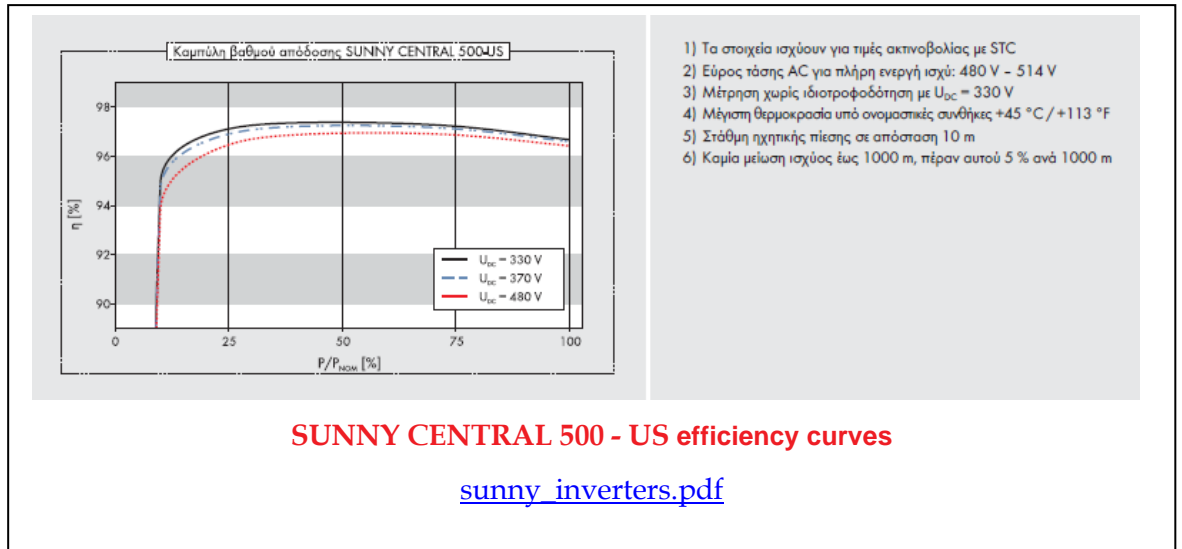
36.



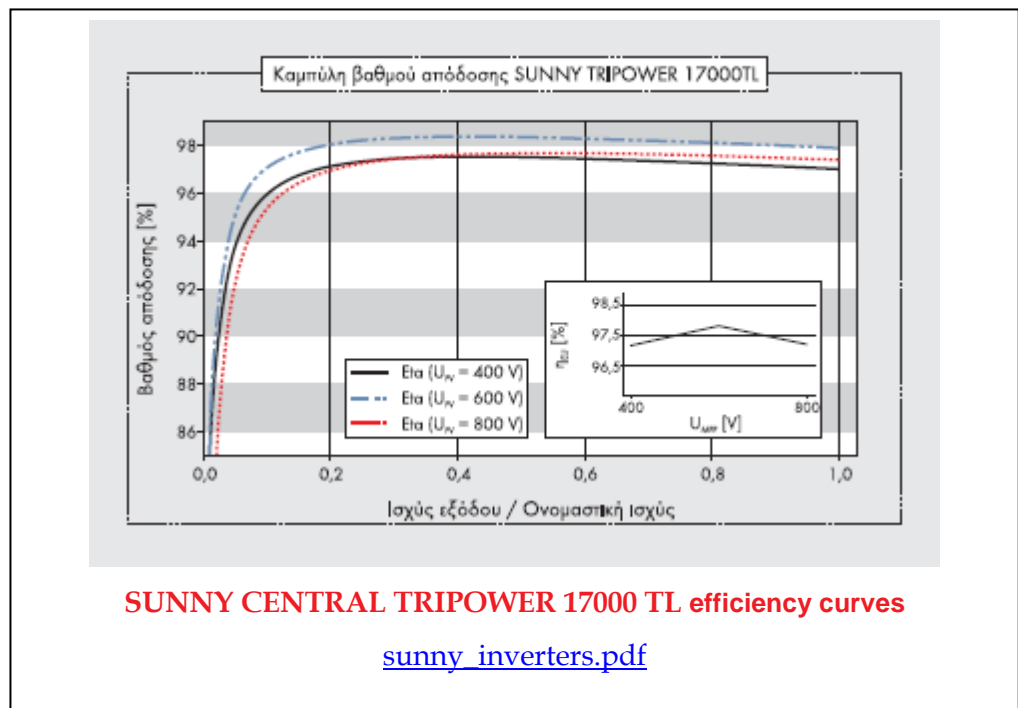
37.



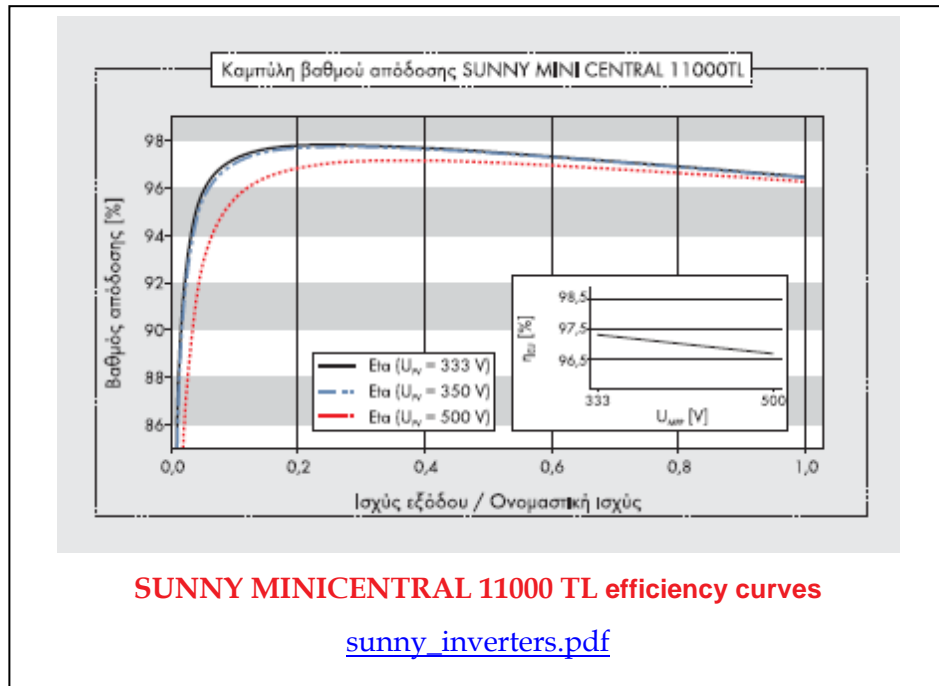
38.



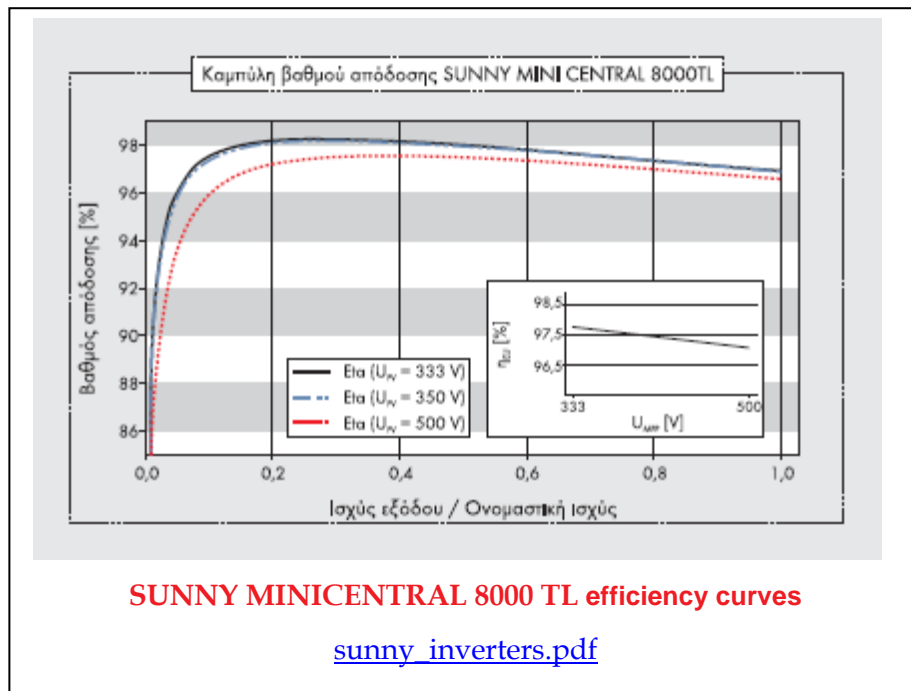
39.



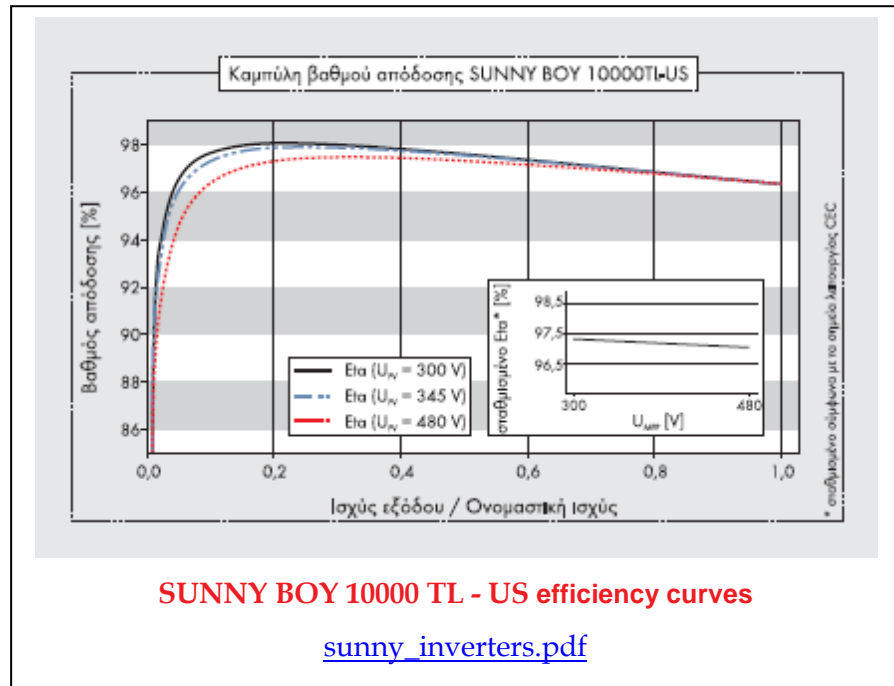
40.



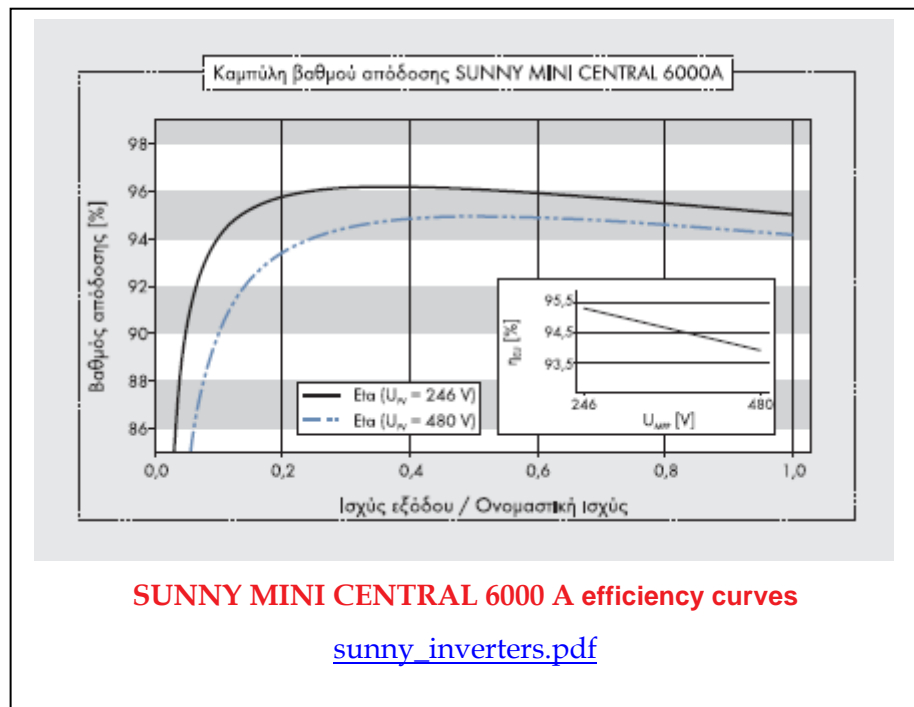
41.



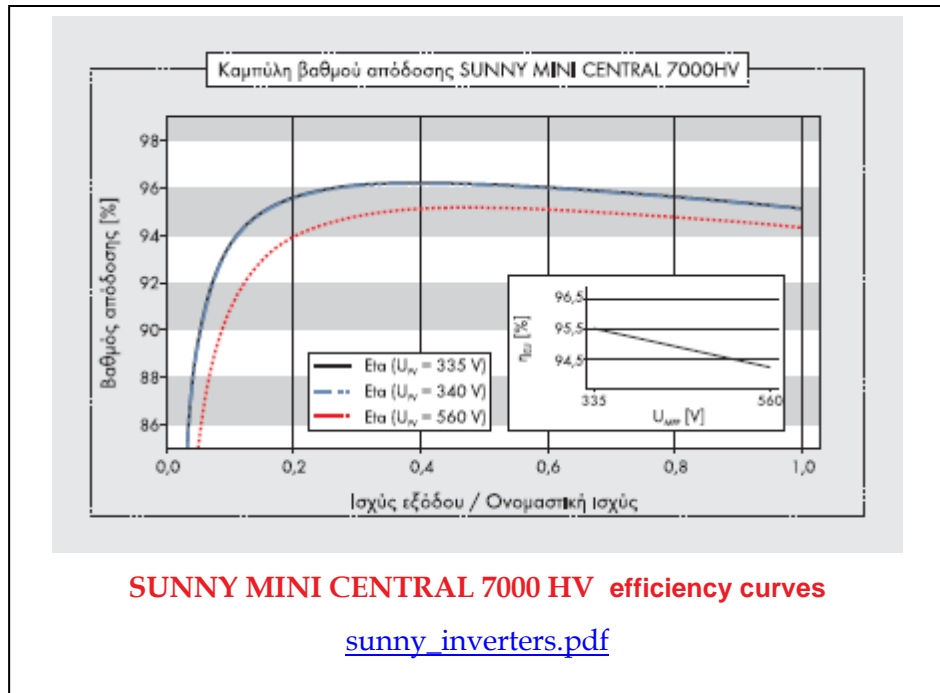
42.



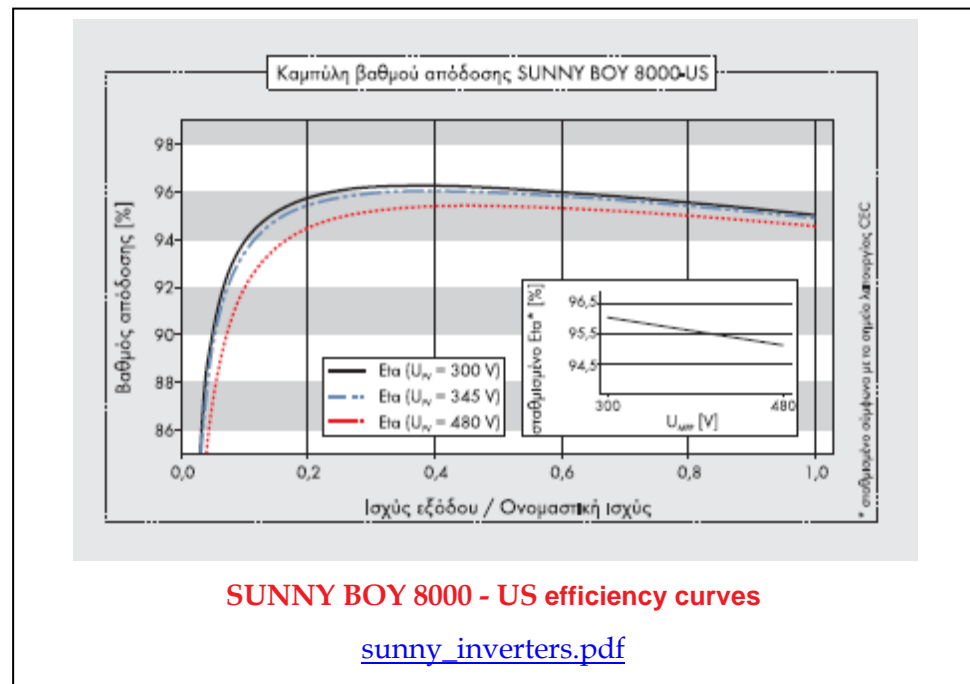
43.



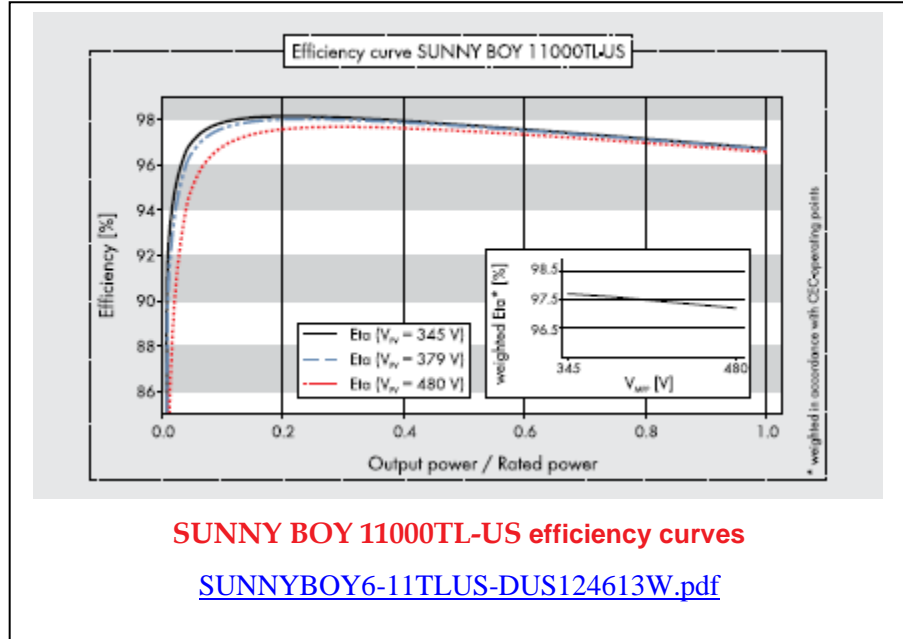
44.



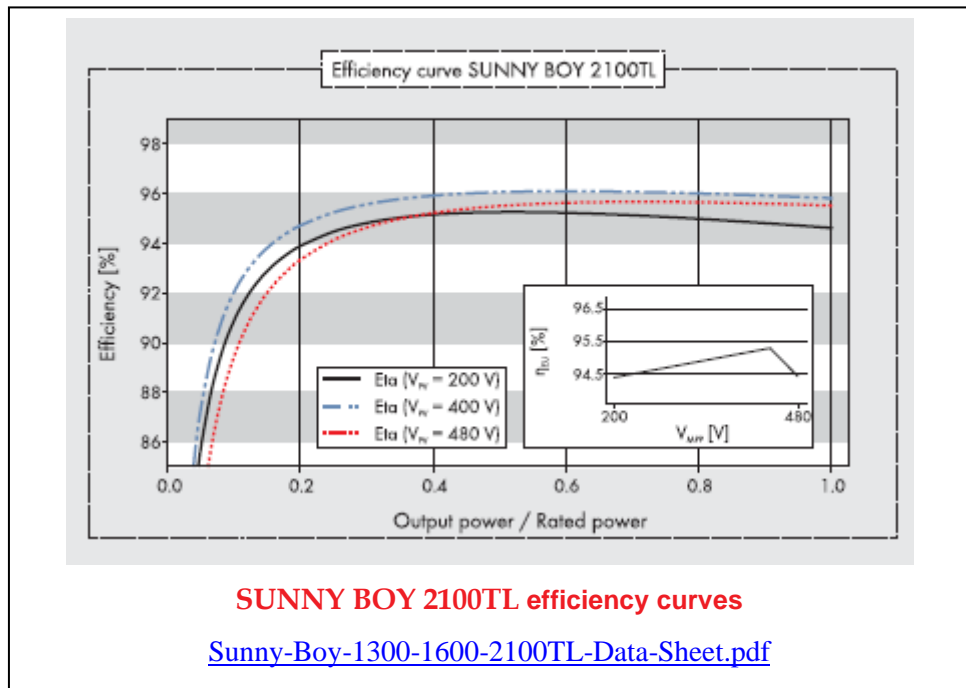
45.



46.



47.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο φύλλο EXCEL που συνοδεύει την παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται στοιχεία για 228 μοντέλα Φ/Β συστημάτων.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν κάποια από τα στοιχεία αυτά υπό μορφή γραφημάτων.

Τα γραφήματα που έχουν επιλεγεί είναι τα εξής:

- Γράφημα DC ισχύος - απόδοσης: Χ-άξονας: DC Power, Υ-άξονας: efficiency,
- Γράφημα εισαγόμενης τάσης - DC ισχύος: Χ-άξονας: rated input voltage, Υ-άξονας: DC Power,
- Γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - εισαγόμενης τάσης: Χ-άξονας: max input current, Υ-άξονας: Rated input voltage,
- Γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - μέγ. εξαγόμενου ρεύματος: Χ-άξονας: max input current, Υ-άξονας: max output current.

Κάθε γράφημα συνοδεύεται από τον αντίστοιχο πίνακα τιμών στον οποίο οι τιμές της μεταβλητής που κάθε φορά λαμβάνεται ως ανεξάρτητη, είναι τοποθετημένες σε αύξουσα σειρά.

**Πίνακας τιμών για το Γράφημα DC ισχύος - απόδοσης:
Χ-άξονας: DC Power, Υ-άξονας: efficiency**

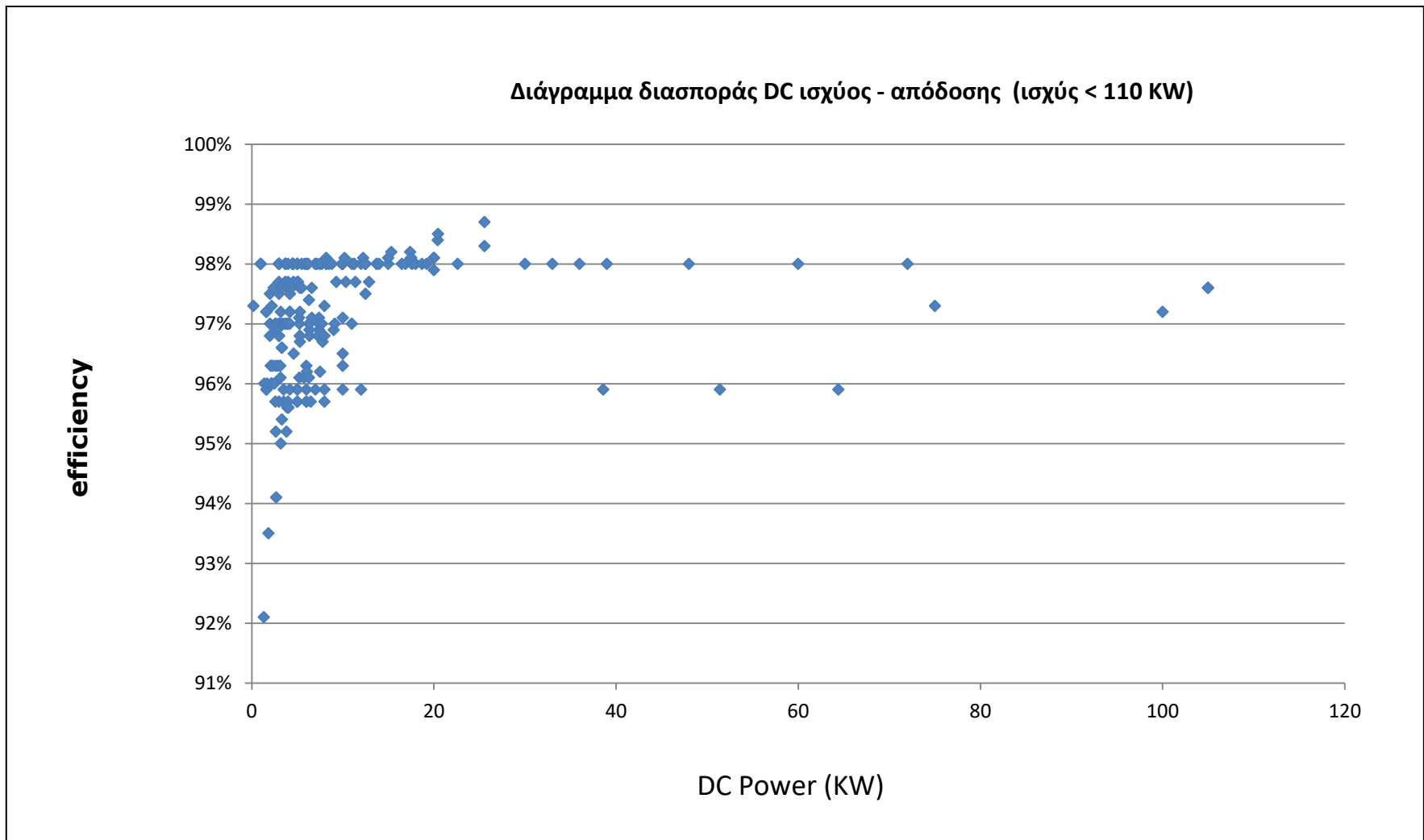
α/α	Μοντέλο	Maximum DC power	Max efficiency
1	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	200	97,30%
2	Sunny Boy 8000TL-US 208V	1000	98%
3	Sunny Boy 8000TL-US 240V	1000	98%
4	Sunny Boy 1200	1320	92,10%
5	Sunny Boy 1300 TL	1400	96%
6	Sunny Boy 1.5	1600	97,20%
7	Sunny Boy 2.5	1600	97,20%
8	FRONIUS GALVO 1,5-1	1600	95,90%
9	Powador 2002	1650	95,90%
10	Sunny Boy 1600 TL	1700	96%
11	Sunny Boy 1700	1850	93,50%
12	SOLARMAX 2000	2000	97.5%
13	POWER-ONE PVI 3.0-TL	2000	96,80%
14	BLUEPLANET 2,0 TL1	2000	97%
15	Sunny Boy 2000HF	2100	96,30%
16	FRONIUS GALVO 2,0-1	2140	96,00%
17	Sunny Boy 2100 TL	2200	96%
18	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	2200	97,30%
19	UNO.2.0-I-OUTD	2300	96.3%
20	SOLAREEDGE SE2200	2400	97,60%
21	Powador 3002	2500	96%
22	Sunny Boy 2500HF	2600	96,30%
23	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	2600	95.7%
24	BLUEPLANET 2,6 TL1	2600	97%
25	Sunny Boy 2500 TL	2650	97%
26	FRONIUS GALVO 2,5-1	2650	95.20%
27	Sunny Boy 2500	2700	94,10%
28	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	2750	96,90%
29	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	2750	96,90%
30	UNO.2.5-I-OUTD	2900	96,30%
31	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	3000	98,00%
32	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	3000	98,00%
33	FRONIUS IG PLUS 30V-1	3000	95.7%
34	FRONIUS IG TL 3,	3000	97,70%
35	FRONIUS SYMO 3.0-3-S	3000	98,00%
36	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	3000	98,00%
37	SOLARMAX 3000	3000	97.5%
38	POWER-ONE PVI 3.6-TL	3000	96,80%
39	POWER-ONE PVI 4,2-TL	3000	96,80%
40	BLUEPLANET 3,0 TL1	3000	97%
41	Sunny Boy 3000HF	3150	96,30%
42	FRONIUS GALVO 3.0-1	3160	96,10%
43	Sunny Boy 3000TL	3200	97%
44	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	3200	97,20%
45	Sunny Boy 3000TL-US 240V	3200	97,60%
46	Sunny Boy 3000	3200	95,00%
47	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	3300	96,60%
48	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	3300	96,60%
49	SOLAREEDGE SE3000	3300	97,60%
50	FRONIUS GALVO 3,1-1	3310	95,40%
51	BLUEPLANET 3,5 TL1	3450	97%
52	FRONIUS IG PLUS35V-1	3500	95.7%
53	Powador 4002	3500	95,90%
54	FRONIUS IG TL 3,6	3680	97,70%
55	BLUEPLANET 3,7 TL1	3680	97%
56	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	3700	98,00%
57	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	3700	98,00%
58	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	3700	98,00%
59	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	3700	98,00%
60	Sunny Boy 3300	3820	95,20%

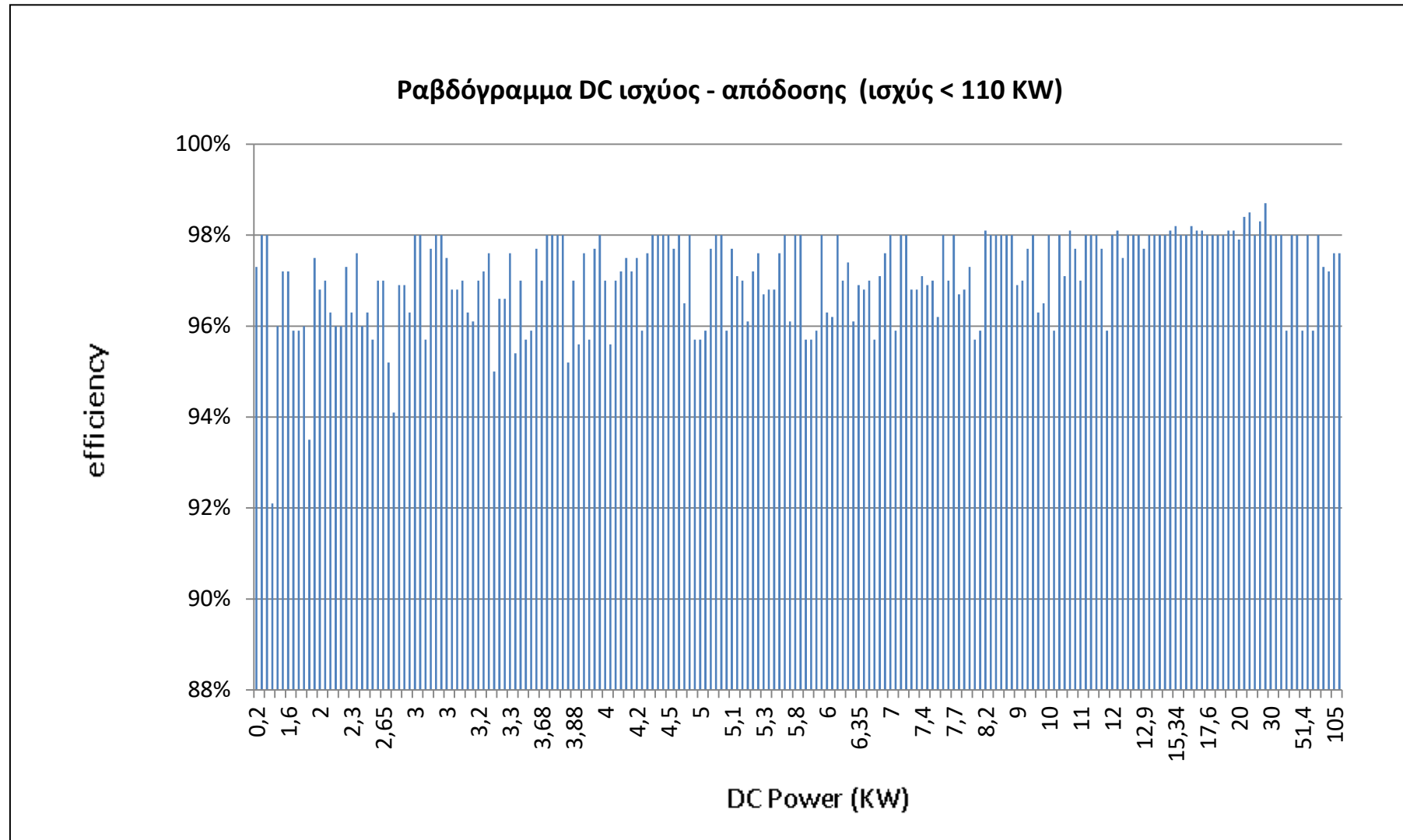
α/α	Μοντέλο	Maximum DC power	Max efficiency
61	Sunny Boy 3600TL	3880	97%
62	Sunny Boy 3800/V	3900	95,60%
63	SOLAREEDGE SE3500	3900	97,60%
64	FRONIUS IG PLUS50V-1	4000	95.7%
65	FRONIUS IG TL 4,0	4000	97,70%
66	SOLARMAX 4000	4000	98%
67	BLUEPLANET 4,0 TL1	4000	97%
68	Sunny Boy 3800	4040	95,60%
69	Sunny Boy 4000TL	4200	97%
70	Sunny Boy 3800TL-US 208V	4200	97,20%
71	Sunny Boy 3800TL-US 240V	4200	97,50%
72	Sunny Boy 4000TL-US 208V	4200	97,20%
73	Sunny Boy 4000TL-US 240V	4200	97,50%
74	Powador 5002	4200	95,90%
75	SOLAREEDGE SE4000	4400	97,60%
76	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	4500	98,00%
77	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	4500	98,00%
78	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	4500	98,00%
79	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	4500	98,00%
80	FRONIUS IG TL 4,6	4600	97,70%
81	SOLARMAX 4600	4600	98%
82	PIKO 4.2	4620	96,50%
83	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	5000	98%
84	FRONIUS IG PLUS 55V-1	5000	95.7%
85	FRONIUS IG PLUS 55V-2	5000	95.7%
86	FRONIUS IG PLUS 55V-3	5000	95,90%
87	FRONIUS IG TL 5,0	5000	97,70%
88	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	5000	98,00%
89	SOLARMAX 5000	5000	98%
90	Powador 6002	5000	95,90%
91	PIKO 4.6	5100	97,70%
92	Sunny Boy 3600 Smart Energy	5200	97,10%
93	Sunny Boy 5000TL	5250	97%
94	Sunny Mini Central 4600A	5250	96,10%
95	Sunny Boy 5000TL-US 208V	5300	97,20%
96	Sunny Boy 5000TL-US 240V	5300	97,60%
97	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	5300	96,70%
98	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	5300	96,80%
99	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	5300	96,80%
100	SOLAREEDGE SE5000	5500	97,60%
101	SOLAREEDGE SE 5K	5500	98%
102	Sunny Mini Central 5000A	5750	96,10%
103	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	5800	98%
104	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	6000	98%
105	FRONIUS IG PLUS 60V-1	6000	95.7%
106	FRONIUS IG PLUS 60V-2	6000	95.7%
107	FRONIUS IG PLUS 60V-3	6000	95,90%
108	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	6000	98,00%
109	Powador 6.0 TL3	6000	96,30%
110	PIKO 5.5	6050	96,20%
111	Sunny Mini Central 6000TL	6200	98,00%
112	Sunny Boy 6000TL-US 208V	6300	97%
113	Sunny Boy 6000TL-US 240V	6300	97,40%
114	Sunny Mini Central 6000A	6300	96,10%
115	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	6350	96,90%
116	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	6350	96,80%
117	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	6350	97%
118	FRONIUS IG PLUS 70V-2	6500	95.7%
119	Sunny Boy 5000 Smart Energy	6600	97,10%
120	SOLAREEDGE SE6000	6600	97,60%

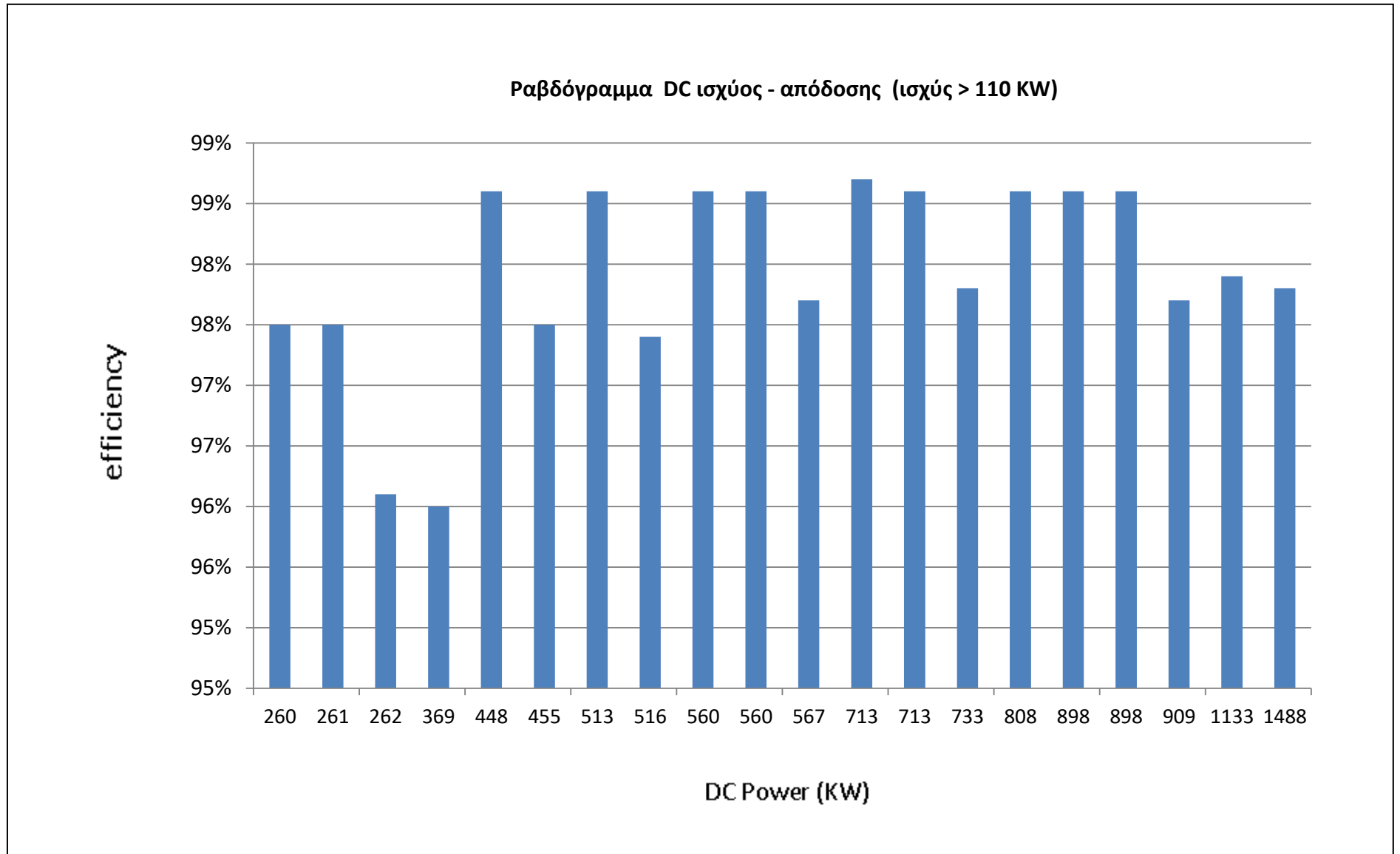
α/α	Μοντέλο	Max DC power	Max efficiency
121	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	7000	98%
122	FRONIUS IG PLUS 80V-3	7000	95,90%
123	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	7000	98,00%
124	Sunny Mini Central 7000TL	7200	98,00%
125	Sunny Boy 7000TL-US 208V	7300	96,80%
126	Sunny Boy 7000TL-US 240V	7300	96,80%
127	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	7400	97,10%
128	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	7400	96,90%
129	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	7400	97%
130	Sunny Mini Central 7000HV	7500	96,20%
131	POWER-ONE TRIO-7,5-TL-OUTD	7500	98%
132	PIKO 7.0	7700	97,00%
133	SOLAREEDGE SE 7K	7700	98%
134	Powador 7,8TL3	7800	96,70%
135	Sunny Boy 7700TL-US 208V	8000	96,80%
136	Sunny Boy 7700TL-US 240V	8000	97,30%
137	FRONIUS IG PLUS 100V-2	8000	95,7%
138	FRONIUS IG PLUS 100V-3	8000	95,90%
139	Sunny Tripower 8000TL	8200	98,10%
140	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	8200	98%
141	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	8200	98,00%
142	Sunny Mini Central 8000TL	8250	98,00%
143	POWER-ONE TRIO-8,5-TL-OUTD	8500	98%
144	SOLAREEDGE SE 8K	8800	98%
145	Powador 9.0 TL3	9000	96,90%
146	PIKO 8.3	9130	97,00%
147	Sunny Mini Central 9000TL	9300	97,70%
148	SOLAREEDGE SE 9K	9900	98%
149	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	10000	96,30%
150	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	10000	96,50%
151	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	10000	98%
152	FRONIUS IG PLUS 120V-3	10000	95,90%
153	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	10000	98,00%
154	Powador 10.0 TL3	10000	97,10%
155	Sunny Tripower 10000TL	10200	98,10%
156	Sunny Mini Central 10000TL	10350	97,70%
157	PIKO 10.1	11000	97,00%
158	SOLAREEDGE SE 10K	11000	98%
159	Sunny Boy 9000TL-US 208V	11250	98%
160	Sunny Boy 9000TL-US 240V	11250	98%
161	Sunny Mini Central 11000TL	11400	97,70%
162	FRONIUS IG PLUS 150V-3	12000	95,90%
163	Powador 12.0 TL3	12000	98%
164	Sunny Tripower 12000TL	12250	98,10%
165	Sunny Boy 10000TL-US 208V	12500	97,50%
166	Sunny Boy 10000TL-US 240V	12500	98%
167	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	12500	98%
168	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	12500	98,00%
169	PIKO 12	12900	97,70%
170	SOLAREEDGE SE 12,5K	13700	98%
171	Sunny Boy 11000TL-US 240V	13750	98%
172	Powador 14.0 TL3	14000	98%
173	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	15000	98%
174	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	15000	98,10%
175	Sunny Tripower 15000TL	15340	98,20%
176	SOLAREEDGE SE 15K	16500	98%
177	PIKO 15	16900	98,00%
178	Sunny Tripower 17000TL	17410	98,20%
179	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	17500	98,10%
180	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	17500	98,10%

α/α	Μοντέλο	Maximum DC power	Max efficiency
181	SOLAREEDGE SE 16K	17600	98%
182	Powador 18.0 TL3	18000	98%
183	SOLAREEDGE SE 17K	18700	98%
184	PIKO 17	19200	98,00%
185	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	20000	98,10%
186	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	20000	98,10%
187	Powador 20.0 TL3	20000	97,90%
188	Sunny Tripower 20000TL	20440	98,40%
189	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	20450	98,50%
190	PIKO 20	22600	98,00%
191	Sunny Tripower 25000TL	25550	98,30%
192	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	25550	98,70%
193	Powador 30.0 TL3	30000	98%
194	Powador 33.0 TL3	33000	98%
195	Powador 36.0 TL3	36000	98%
196	FRONIUS CL36,0	38600	95,90%
197	Powador 39.0 TL3	39000	98%
198	Powador 48.0 TL3	48000	98%
199	FRONIUS CL48,0	51400	95,90%
200	Powador 60.0 TL3	60000	98%
201	FRONIUS CL60,0	64400	95,90%
202	Powador 72.0 TL3	72000	98%
203	FRONIUS AGILO 75,0-3	75000	97,30%
204	FRONIUS AGILO 100,0-3	100000	97,20%
205	Sunny Central Outdoor/Indoor	105000	97,60%
206	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	105000	97,60%
207	Sunny Central 250-US	260000	97,50%
208	Sunny Central 250HE	261000	97,50%
209	Sunny Central 250	262000	96,10%
210	Sunny Central 350	369000	96,00%
211	Sunny Central 400HE	448000	98,60%
212	Sunny Central 400MV	455000	97,50%
213	Sunny Central 500HE-US	513000	98,60%
214	Sunny Central 500-US	516000	97,40%
215	Sunny Central 500CP	560000	98,60%
216	Sunny Central 500HE	560000	98,60%
217	Sunny Central 500MV	567000	97,70%
218	Sunny Central 630CP	713000	98,70%
219	Sunny Central 630HE	713000	98,60%
220	Sunny Central 630MV	733000	97,80%
221	Sunny Central 720CP	808000	98,60%
222	Sunny Central 760CP	898000	98,60%
223	Sunny Central 800CP	898000	98,60%
224	Sunny Central 800MV	909000	97,70%
225	Sunny Central 1000MV	1133000	97,90%
226	Sunny Central 1250MV	1488000	97,80%
227	PIKO 3.0		95,70%
228	PIKO 3.6		95,80%

Οι γραμμές 227-228 του πίνακα δεν ελήφθησαν υπόψη στο γράφημα που ακολουθεί. Γενικά, οι γραμμές με απόυες τιμές δε λαμβάνονται υπόψη στα γραφήματα.







Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

Με τη βοήθεια των εργαλείων που προσφέρει το EXCEL, μπορούμε να συνάγουμε τα εξής:

1) Η μικρότερη τιμή της απόδοσης είναι

$$\text{min efficiency} = 92,1\%.$$

2) Η μέγιστη απόδοση είναι

$$\text{max efficiency} = 98,7\%.$$

3) Η μέση απόδοση είναι

$$\text{average efficiency} = 97,2\%,$$

ενώ το EXCEL υπολογίζει τυπική απόκλιση

$$s = 0,00997,$$

που σημαίνει ότι οι αποδόσεις ελάχιστα αποκλίνουν κατά μέσο όρο από τη μέση τιμή.

4) Επί συνόλου 226 περιπτώσεων, στις 132 παρατηρείται απόδοση \geq της μέσης απόδοσης (ποσοστό 58%).

5) Σε 85 από τις 226 περιπτώσεις παρατηρείται απόδοση \geq 98% (ποσοστό 37,6%), ενώ

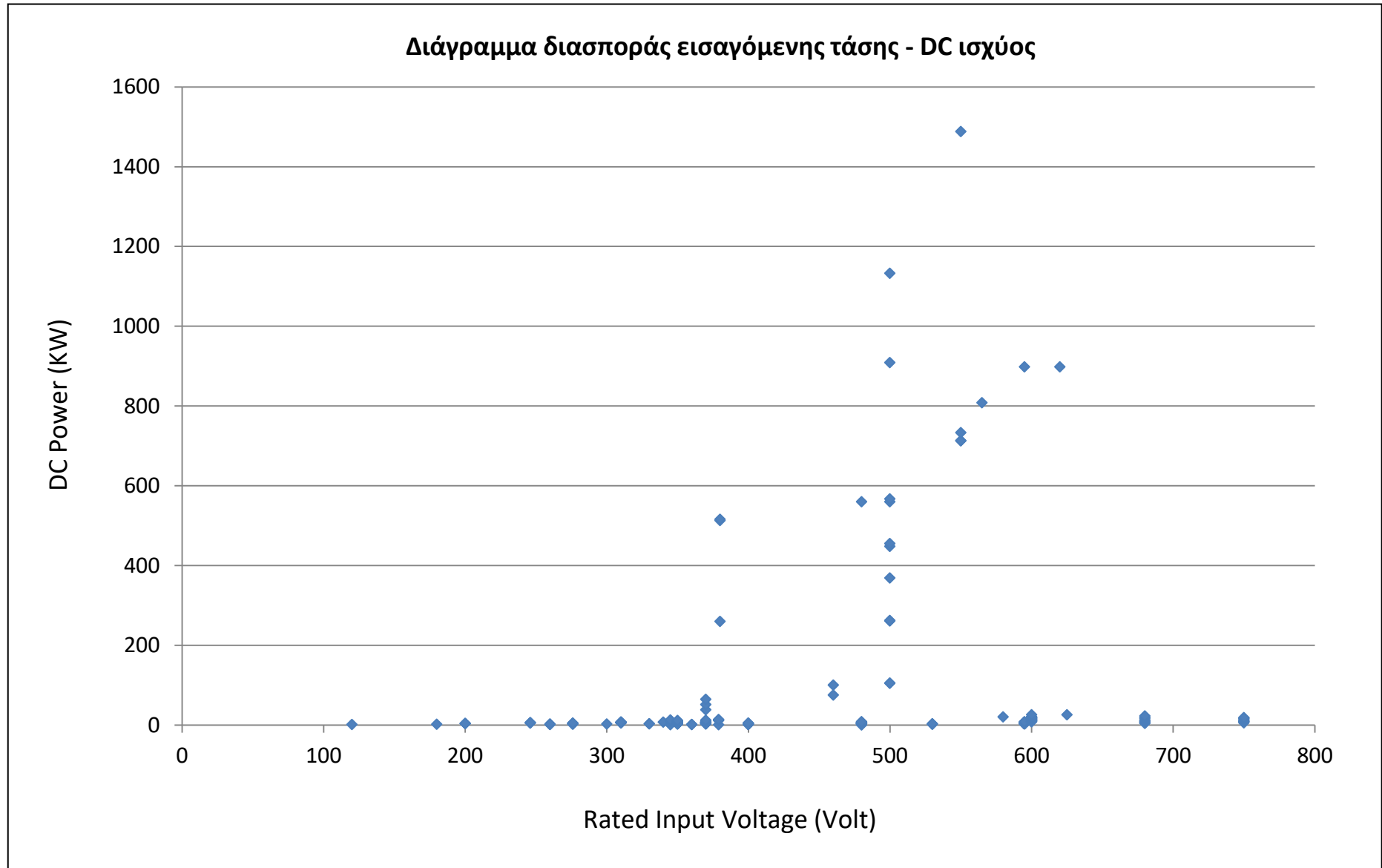
6) μόνο σε 2 από τις 226 περιπτώσεις παρατηρείται η μέγιστη απόδοση (ποσοστό 0,9%).

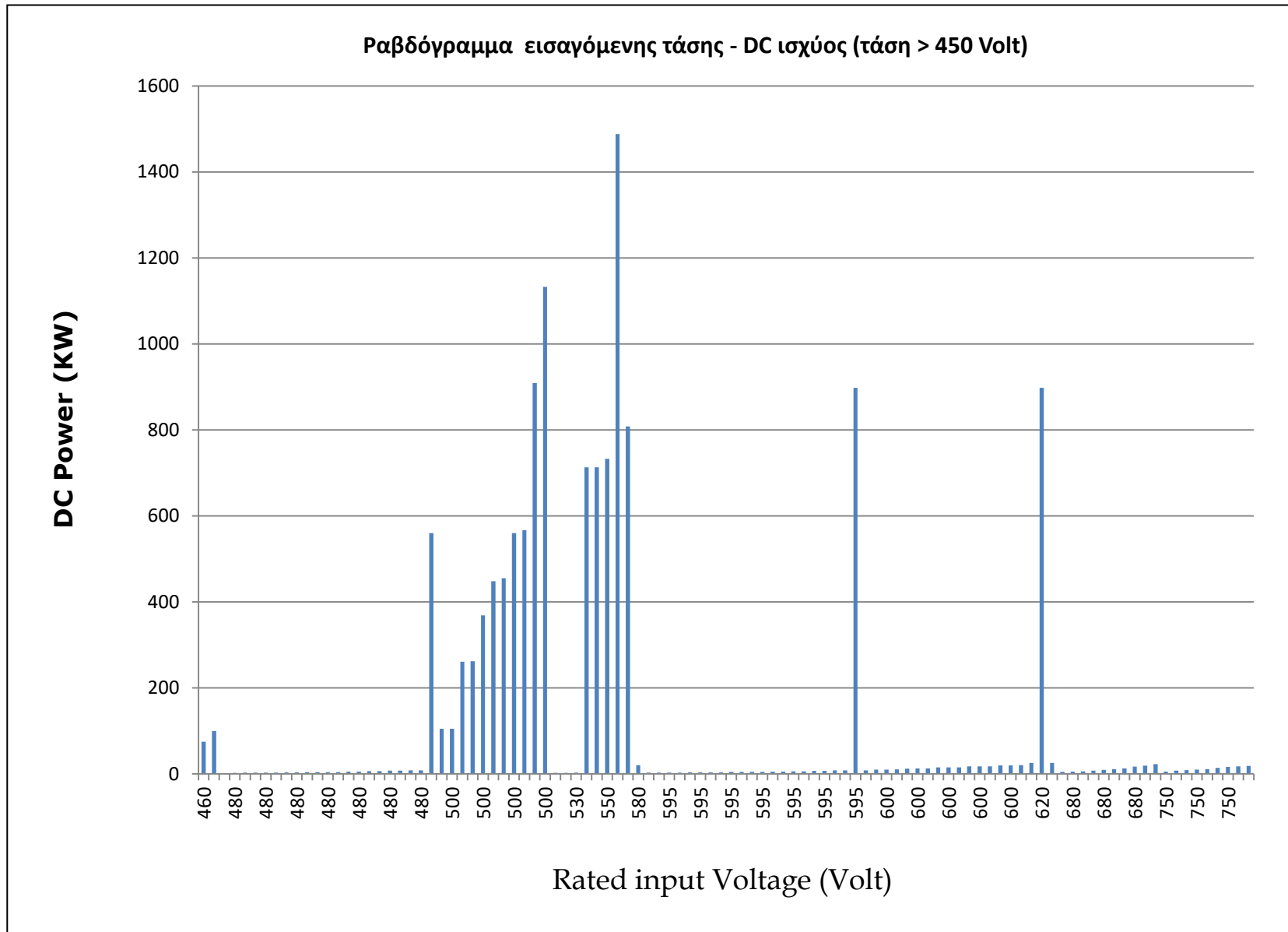
7) Τέλος, όπως φαίνεται στα γραφήματα, δεν απαιτείται κατ' ανάγκη μεγάλη ισχύς για να επιτευχθεί μεγάλη απόδοση.

Πίνακας τιμών για το Γράφημα εισαγόμενης τάσης - DC ισχύος:
Χ-άξονας: rated input voltage, Υ-άξονας: DC Power

α/α	Μοντέλο	rated input voltage	DC Power	α/α	Μοντέλο	rated input voltage	DC Power
1	Sunny Boy 1200	120	1320	61	FRONIUS IG PLUS 30V-1	370	3000
2	Sunny Boy 1700	180	1850	62	FRONIUS IG PLUS35V-1	370	3500
3	Sunny Boy 3300	200	3820	63	FRONIUS IG PLUS50V-1	370	4000
4	Sunny Boy 3800/V	200	3900	64	FRONIUS IG PLUS 55V-1	370	5000
5	Sunny Boy 3800	200	4040	65	FRONIUS IG PLUS 55V-2	370	5000
6	Sunny Mini Central 4600A	246	5250	66	FRONIUS IG PLUS 55V-3	370	5000
7	Sunny Mini Central 5000A	246	5750	67	FRONIUS IG PLUS 60V-1	370	6000
8	Sunny Mini Central 6000A	246	6300	68	FRONIUS IG PLUS 60V-2	370	6000
9	FRONIUS GALVO 1,5-1	260	1600	69	FRONIUS IG PLUS 60V-3	370	6000
10	FRONIUS GALVO 2,0-1	260	2140	70	FRONIUS IG PLUS 70V-2	370	6500
11	FRONIUS GALVO 2,5-1	260	2650	71	FRONIUS IG PLUS 80V-3	370	7000
12	SOLARMAX 2000	276	2000	72	FRONIUS IG PLUS 100V-2	370	8000
13	SOLARMAX 3000	276	3000	73	FRONIUS IG PLUS 100V-3	370	8000
14	SOLARMAX 4000	276	4000	74	FRONIUS IG PLUS 120V-3	370	10000
15	SOLARMAX 4600	276	4600	75	FRONIUS IG PLUS 150V-3	370	12000
16	SOLARMAX 5000	276	5000	76	FRONIUS CL36,0	370	38600
17	Sunny Boy 2500	300	2700	77	FRONIUS CL48,0	370	51400
18	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	310	5300	78	FRONIUS CL60,0	370	64400
19	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	310	5300	79	Sunny Boy 8000TL-US 240V	379	1000
20	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	310	5300	80	Sunny Boy 9000TL-US 240V	379	11250
21	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	310	6350	81	Sunny Boy 10000TL-US 240V	379	12500
22	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	310	6350	82	Sunny Boy 11000TL-US 240V	379	13750
23	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	310	6350	83	Sunny Central 250-US	380	260000
24	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	310	7400	84	Sunny Central 500HE-US	380	513000
25	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	310	7400	85	Sunny Central 500-US	380	516000
26	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	310	7400	86	Sunny Boy 1300 TL	400	1400
27	FRONIUS GALVO 3.0-1	330	3160	87	Sunny Boy 1600 TL	400	1700
28	FRONIUS GALVO 3,1-1	330	3310	88	Sunny Boy 2100 TL	400	2200
29	Sunny Mini Central 7000HV	340	7500	89	Sunny Boy 2500 TL	400	2650
30	Sunny Boy 8000TL-US 208V	345	1000	90	Sunny Boy 3000TL	400	3200
31	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	345	10000	91	Sunny Boy 3600TL	400	3880
32	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	345	10000	92	Sunny Boy 4000TL	400	4200
33	Sunny Boy 9000TL-US 208V	345	11250	93	Sunny Boy 5000TL	400	5250
34	Sunny Boy 10000TL-US 208V	345	12500	94	FRONIUS AGILO 75,0-3	460	75000
35	SOLAREEDGE SE2200	350	2400	95	FRONIUS AGILO 100,0-3	460	100000
36	FRONIUS IG TL 3,	350	3000	96	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	480	200
37	Sunny Boy 3000	350	3200	97	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	480	2200
38	SOLAREEDGE SE3000	350	3300	98	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	480	2750
39	FRONIUS IG TL 3,6	350	3680	99	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	480	2750
40	SOLAREEDGE SE3500	350	3900	100	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	480	3200
41	FRONIUS IG TL 4,0	350	4000	101	Sunny Boy 3000TL-US 240V	480	3200
42	SOLAREEDGE SE4000	350	4400	102	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	480	3300
43	FRONIUS IG TL 4,6	350	4600	103	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	480	3300
44	FRONIUS IG TL 5,0	350	5000	104	Sunny Boy 3800TL-US 208V	480	4200
45	Sunny Boy 3600 Smart Energy	350	5200	105	Sunny Boy 3800TL-US 240V	480	4200
46	SOLAREEDGE SE5000	350	5500	106	Sunny Boy 4000TL-US 208V	480	4200
47	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	350	5800	107	Sunny Boy 4000TL-US 240V	480	4200
48	Sunny Mini Central 6000TL	350	6200	108	Sunny Boy 5000TL-US 208V	480	5300
49	Sunny Boy 5000 Smart Energy	350	6600	109	Sunny Boy 5000TL-US 240V	480	5300
50	SOLAREEDGE SE6000	350	6600	110	Sunny Boy 6000TL-US 208V	480	6300
51	Sunny Mini Central 7000TL	350	7200	111	Sunny Boy 6000TL-US 240V	480	6300
52	POWER-ONE TRIO-7.5-TL-OUTD	350	7500	112	Sunny Boy 7000TL-US 208V	480	7300
53	Sunny Mini Central 8000TL	350	8250	113	Sunny Boy 7000TL-US 240V	480	7300
54	POWER-ONE TRIO-8.5-TL-OUTD	350	8500	114	Sunny Boy 7700TL-US 208V	480	8000
55	Sunny Mini Central 9000TL	350	9300	115	Sunny Boy 7700TL-US 240V	480	8000
56	Sunny Mini Central 10000TL	350	10350	116	Sunny Central 500CP	480	560000
57	Sunny Mini Central 11000TL	350	11400	117	Sunny Central Outdoor/Indoor	500	105000
58	Sunny Boy 1.5	360	1600	118	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	500	105000
59	Sunny Boy 2.5	360	1600	119	Sunny Central 250HE	500	261000
60	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	370	2600	120	Sunny Central 250	500	262000

α/α	Μοντέλο	rated input voltage	DC Power	α/α	Μοντέλο	rated input voltage	DC Power
121	Sunny Central 350	500	369000	181	PIKO 8.3	680	9130
122	Sunny Central 400HE	500	448000	182	PIKO 10.1	680	11000
123	Sunny Central 400MV	500	455000	183	PIKO 12	680	12900
124	Sunny Central 500HE	500	560000	184	PIKO 15	680	16900
125	Sunny Central 500MV	500	567000	185	PIKO 17	680	19200
126	Sunny Central 800MV	500	909000	186	PIKO 20	680	22600
127	Sunny Central 1000MV	500	1133000	187	PIKO 3.0	680	
128	Sunny Boy 2000HF	530	2100	188	PIKO 3.6	680	
129	Sunny Boy 2500HF	530	2600	189	SOLAREEDGE SE 5K	750	5500
130	Sunny Boy 3000HF	530	3150	190	SOLAREEDGE SE 7K	750	7700
131	Sunny Central 630CP	550	713000	191	SOLAREEDGE SE 8K	750	8800
132	Sunny Central 630HE	550	713000	192	SOLAREEDGE SE 9K	750	9900
133	Sunny Central 630MV	550	733000	193	SOLAREEDGE SE 10K	750	11000
134	Sunny Central 1250MV	550	1488000	194	SOLAREEDGE SE 12,5K	750	13700
135	Sunny Central 720CP	565	808000	195	SOLAREEDGE SE 15K	750	16500
136	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	580	20450	196	SOLAREEDGE SE 16K	750	17600
137	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	595	3000	197	SOLAREEDGE SE 17K	750	18700
138	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	595	3000	198	Powador 2002		1650
139	FRONIUS SYMO 3.0-3-S	595	3000	199	POWER-ONE PVI 3.0-TL		2000
140	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	595	3000	200	BLUEPLANET 2,0 TL1		2000
141	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	595	3700	201	UNO.2.0-I-OUTD		2300
142	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	595	3700	202	Powador 3002		2500
143	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	595	3700	203	BLUEPLANET 2,6 TL1		2600
144	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	595	3700	204	UNO.2.5-I-OUTD		2900
145	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	595	4500	205	POWER-ONE PVI 3.6-TL		3000
146	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	595	4500	206	POWER-ONE PVI 4,2-TL		3000
147	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	595	4500	207	BLUEPLANET 3,0 TL1		3000
148	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	595	4500	208	BLUEPLANET 3,5 TL1		3450
149	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	595	5000	209	Powador 4002		3500
150	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	595	5000	210	BLUEPLANET 3,7 TL1		3680
151	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	595	6000	211	BLUEPLANET 4,0 TL1		4000
152	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	595	6000	212	Powador 5002		4200
153	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	595	7000	213	Powador 6002		5000
154	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	595	7000	214	Powador 6.0 TL3		6000
155	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	595	8200	215	Powador 7,8TL3		7800
156	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	595	8200	216	Powador 9.0 TL3		9000
157	Sunny Central 760CP	595	898000	217	Powador 10.0 TL3		10000
158	Sunny Tripower 8000TL	600	8200	218	Powador 12.0 TL3		12000
159	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	600	10000	219	Powador 14.0 TL3		14000
160	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	600	10000	220	Powador 18.0 TL3		18000
161	Sunny Tripower 10000TL	600	10200	221	Powador 20.0 TL3		20000
162	Sunny Tripower 12000TL	600	12250	222	Powador 30.0 TL3		30000
163	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	600	12500	223	Powador 33.0 TL3		33000
164	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	600	12500	224	Powador 36.0 TL3		36000
165	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	600	15000	225	Powador 39.0 TL3		39000
166	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	600	15000	226	Powador 48.0 TL3		48000
167	Sunny Tripower 15000TL	600	15340	227	Powador 60.0 TL3		60000
168	Sunny Tripower 17000TL	600	17410	228	Powador 72.0 TL3		72000
169	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	600	17500				
170	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	600	17500				
171	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	600	20000				
172	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	600	20000				
173	Sunny Tripower 20000TL	600	20440				
174	Sunny Tripower 25000TL	600	25550				
175	Sunny Central 800CP	620	898000				
176	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	625	25550				
177	PIKO 4.2	680	4620				
178	PIKO 4.6	680	5100				
179	PIKO 5.5	680	6050				
180	PIKO 7.0	680	7700				





Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

Παρατηρώντας τα προηγούμενα γραφήματα, έχουμε να σχολιάσουμε τα εξής:

1) Άμεσα συμπεραίνουμε πως οι περισσότερες από τις τιμές της τάσης εισόδου δίνουν «χαμηλές» τιμές DC-ισχύος (μικρότερες των 100 KW).

2) Ένα δεύτερο συμπέρασμα είναι το ότι οι «υψηλότερες» τιμές της DC-ισχύος (περίπου 300 έως 1500 KW) επιτυγχάνονται για τιμές της τάσης εισόδου μεταξύ των 500 και 600 Volt.

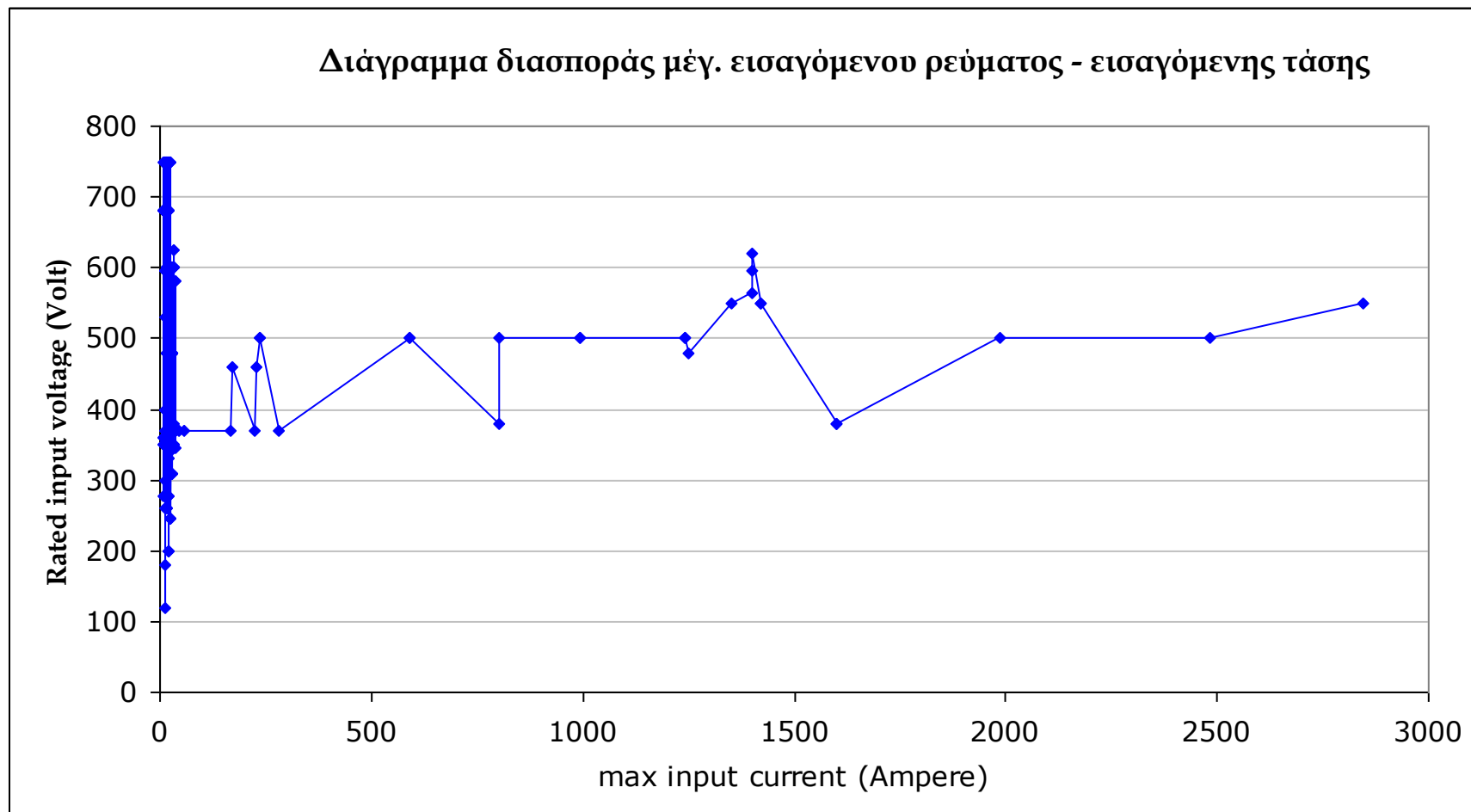
3) Η μέγιστη DC-ισχύς των 1488 KW αντιστοιχεί σε τάση εισόδου 550 Volt.

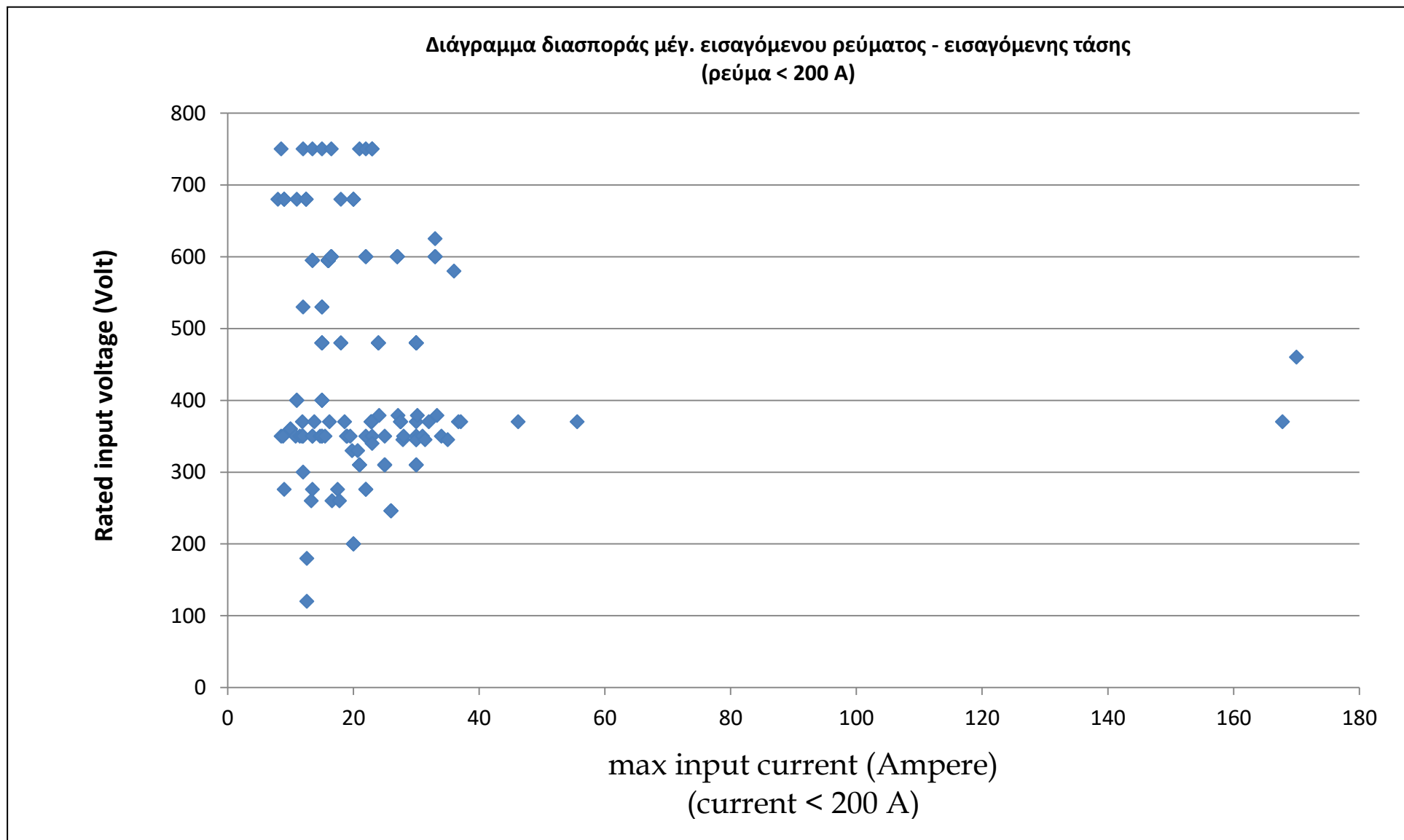
Πίνακας τιμών για το Γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - εισαγόμενης τάσης:

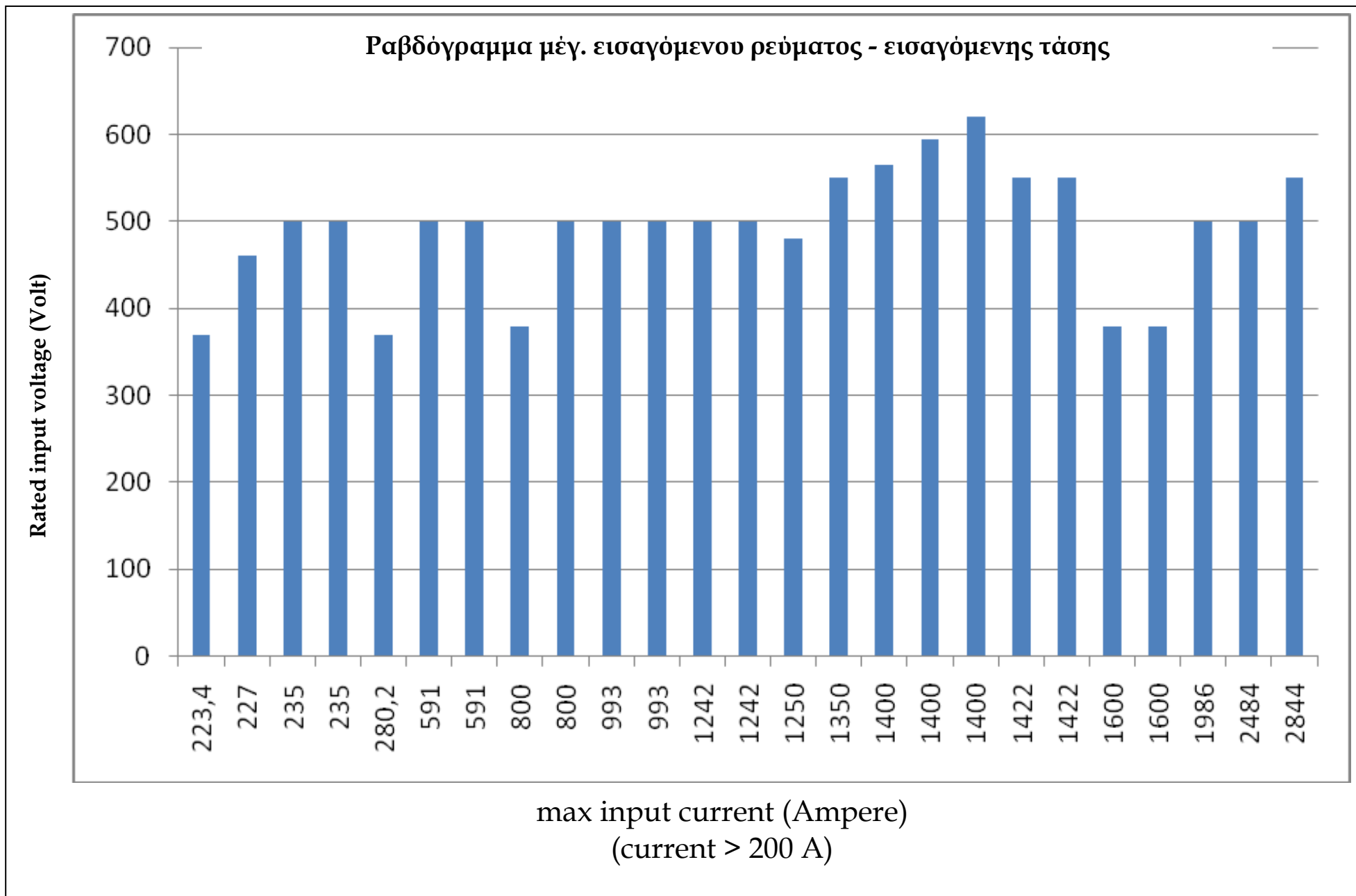
Χ-άξονας: max input current, Υ-άξονας: Rated input voltage

α/α	Μοντέλο	max input current	rated input voltage	α/α	Μοντέλο	max input current	rated input voltage
1	PIKO 3.6	8	680	61	SOLAREEDGE SE 9K	15	750
2	SOLAREEDGE SE2200	8,5	350	62	SOLAREEDGE SE4000	15,5	350
3	SOLAREEDGE SE 5K	8,5	750	63	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	16	595
4	FRONIUS IG TL 3,	8,8	350	64	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	595
5	SOLARMAX 2000	9	276	65	FRONIUS SYMO 3.0-3-S	16	595
6	PIKO 4.2	9	680	66	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	595
7	PIKO 5.5	9	680	67	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	595
8	PIKO 3.0	9	680	68	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	595
9	Sunny Boy 1.5	10	360	69	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	595
10	Sunny Boy 2.5	10	360	70	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	595
11	FRONIUS IG TL 3,6	10,8	350	71	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	595
12	Sunny Boy 1300 TL	11	400	72	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	595
13	Sunny Boy 1600 TL	11	400	73	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	595
14	BLUEPLANET 2,0 TL1	11		74	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	595
15	Sunny Boy 2100 TL	11	400	75	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	16	595
16	BLUEPLANET 2,6 TL1	11		76	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	16	595
17	PIKO 4.6	11	680	77	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	16	595
18	SOLAREEDGE SE3000	11,5	350	78	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	16	595
19	FRONIUS IG TL 4,0	11,8	350	79	FRONIUS IG PLUS35V-1	16,2	370
20	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	11,9	370	80	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	600
21	Sunny Boy 2000HF	12	530	81	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	600
22	Sunny Boy 2500	12	300	82	SOLAREEDGE SE 10K	16,5	750
23	Sunny Boy 3000	12	350	83	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	600
24	SOLAREEDGE SE 7K	12	750	84	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	600
25	POWER-ONE PVI 3.0-TL	12,5		85	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	16,5	600
26	UNO.2.0-I-OUTD	12,5		86	FRONIUS GALVO 2,5-1	16,6	260
27	PIKO 7.0	12,5	680	87	SOLARMAX 4000	17,5	276
28	PIKO 8.3	12,5	680	88	FRONIUS GALVO 2,0-1	17,8	260
29	PIKO 10.1	12,5	680	89	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	18	480
30	Sunny Boy 1200	12,6	120	90	Sunny Boy 3000TL-US 240V	18	480
31	Sunny Boy 1700	12,6	180	91	PIKO 12	18	680
32	UNO.2.5-I-OUTD	12,8		92	Powador 4002	18,5	
33	FRONIUS GALVO 1,5-1	13,3	260	93	FRONIUS IG PLUS50V-1	18,6	370
34	Powador 3002	13,5		94	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	18,9	350
35	SOLARMAX 3000	13,5	276	95	Sunny Mini Central 6000TL	19	350
36	SOLAREEDGE SE3500	13,5	350	96	SOLAREEDGE SE5000	19,5	350
37	FRONIUS IG TL 4,6	13,5	350	97	FRONIUS GALVO 3.0-1	19,8	330
38	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	13,5	595	98	POWER-ONE PVI 3.6-TL	20	
39	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	13,5	595	99	POWER-ONE PVI 4,2-TL	20	
40	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	13,5	595	100	Sunny Boy 3300	20	200
41	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	13,5	595	101	Sunny Boy 3800/V	20	200
42	SOLAREEDGE SE 8K	13,5	750	102	Sunny Boy 3800	20	200
43	FRONIUS IG PLUS 30V-1	13,8	370	103	PIKO 15	20	680
44	Powador 2002	14,3		104	PIKO 17	20	680
45	FRONIUS IG TL 5,0	14,7	350	105	PIKO 20	20	680
46	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	15	480	106	FRONIUS GALVO 3,1-1	20,7	330
47	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	15	480	107	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	21	310
48	Sunny Boy 2500HF	15	530	108	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	21	310
49	Sunny Boy 2500 TL	15	400	109	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	21	310
50	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	15	480	110	SOLAREEDGE SE 12,5K	21	750
51	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	15	480	111	BLUEPLANET 3,0 TL1	22	
52	Sunny Boy 3000HF	15	530	112	BLUEPLANET 3,5 TL1	22	
53	Sunny Boy 3000TL	15	400	113	BLUEPLANET 3,7 TL1	22	
54	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	15	480	114	BLUEPLANET 4,0 TL1	22	
55	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	15	480	115	SOLARMAX 4600	22	276
56	Sunny Boy 3600TL	15	400	116	SOLARMAX 5000	22	276
57	Sunny Boy 4000TL	15	400	117	Powador 6.0 TL3	22	
58	Sunny Boy 3600 Smart Energy	15	350	118	Sunny Mini Central 7000TL	22	350
59	Sunny Boy 5000TL	15	400	119	Powador 7,8TL3	22	
60	Sunny Boy 5000 Smart Energy	15	350	120	Sunny Tripower 8000TL	22	600

α/α	Μοντέλο	max input current	rated input voltage	α/α	Μοντέλο	max input current	rated input voltage
121	Powador 9.0 TL3	22		181	Sunny Tripower 25000TL	33	600
122	Powador 10.0 TL3	22		182	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	33	625
123	Sunny Tripower 10000TL	22	600	183	Sunny Boy 11000TL-US 240V	33,3	379
124	Sunny Tripower 12000TL	22	600	184	Sunny Mini Central 11000TL	34	350
125	SOLAREEDGE SE 15K	22	750	185	Sunny Boy 10000TL-US 208V	35	345
126	Powador 5002	22,4		186	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	36	580
127	FRONIUS IG PLUS 55V-3	22,8	370	187	FRONIUS IG PLUS 100V-3	36,7	370
128	FRONIUS IG PLUS 55V-1	22,9	370	188	FRONIUS IG PLUS 100V-2	37,1	370
129	FRONIUS IG PLUS 55V-2	22,9	370	189	Powador 12.0 TL3	37,2	
130	SOLAREEDGE SE6000	23	350	190	Powador 14.0 TL3	37,2	
131	Sunny Mini Central 7000HV	23	340	191	Powador 18.0 TL3	37,2	
132	SOLAREEDGE SE 16K	23	750	192	Powador 20.0 TL3	37,2	
133	SOLAREEDGE SE 17K	23	750	193	FRONIUS IG PLUS 120V-3	46,2	370
134	Sunny Boy 3800TL-US 208V	24	480	194	FRONIUS IG PLUS 150V-3	55,6	370
135	Sunny Boy 3800TL-US 240V	24	480	195	Powador 30.0 TL3	102	
136	Sunny Boy 4000TL-US 208V	24	480	196	Powador 33.0 TL3	102	
137	Sunny Boy 4000TL-US 240V	24	480	197	Powador 36.0 TL3	102	
138	Sunny Boy 8000TL-US 240V	24,1	379	198	Powador 39.0 TL3	102	
139	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	25	310	199	Powador 48.0 TL3	102	
140	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	25	310	200	Powador 60.0 TL3	102	
141	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	25	310	201	Powador 72.0 TL3	108	
142	Sunny Mini Central 8000TL	25	350	202	FRONIUS CL36,0	167,8	370
143	Sunny Mini Central 4600A	26	246	203	FRONIUS AGILO 75,0-3	170	460
144	Sunny Mini Central 5000A	26	246	204	FRONIUS CL48,0	223,4	370
145	Sunny Mini Central 6000A	26	246	205	FRONIUS AGILO 100,0-3	227	460
146	Powador 6002	26,5		206	Sunny Central Outdoor/Indoor	235	500
147	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	27	600	207	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	235	500
148	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	600	208	FRONIUS CL60,0	280,2	370
149	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	600	209	Sunny Central 250HE	591	500
150	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	600	210	Sunny Central 250	591	500
151	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	600	211	Sunny Central 250-US	800	380
152	Sunny Boy 9000TL-US 240V	27,1	379	212	Sunny Central 350	800	500
153	FRONIUS IG PLUS 60V-1	27,5	370	213	Sunny Central 400HE	993	500
154	FRONIUS IG PLUS 60V-2	27,5	370	214	Sunny Central 400MV	993	500
155	FRONIUS IG PLUS 60V-3	27,5	370	215	Sunny Central 500HE	1242	500
156	Sunny Boy 8000TL-US 208V	27,9	345	216	Sunny Central 500MV	1242	500
157	Sunny Mini Central 9000TL	28	350	217	Sunny Central 500CP	1250	480
158	Sunny Boy 5000TL-US 208V	30	480	218	Sunny Central 630CP	1350	550
159	Sunny Boy 5000TL-US 240V	30	480	219	Sunny Central 720CP	1400	565
160	Sunny Boy 6000TL-US 208V	30	480	220	Sunny Central 760CP	1400	595
161	Sunny Boy 6000TL-US 240V	30	480	221	Sunny Central 800CP	1400	620
162	FRONIUS IG PLUS 70V-2	30	370	222	Sunny Central 630HE	1422	550
163	Sunny Boy 7000TL-US 208V	30	480	223	Sunny Central 630MV	1422	550
164	Sunny Boy 7000TL-US 240V	30	480	224	Sunny Central 500HE-US	1600	380
165	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	30	310	225	Sunny Central 500-US	1600	380
166	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	30	310	226	Sunny Central 800MV	1986	500
167	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	30	310	227	Sunny Central 1000MV	2484	500
168	POWER-ONE TRIO-7,5-TL-OUTD	30	350	228	Sunny Central 1250MV	2844	550
169	Sunny Boy 7700TL-US 208V	30	480				
170	Sunny Boy 7700TL-US 240V	30	480				
171	POWER-ONE TRIO-8,5-TL-OUTD	30	350				
172	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	30	345				
173	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	30	345				
174	Sunny Boy 10000TL-US 240V	30,2	379				
175	Sunny Mini Central 10000TL	31	350				
176	Sunny Boy 9000TL-US 208V	31,4	345				
177	FRONIUS IG PLUS 80V-3	32	370				
178	Sunny Tripower 15000TL	33	600				
179	Sunny Tripower 17000TL	33	600				
180	Sunny Tripower 20000TL	33	600				







Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

1) Αρχικά, το γράφημα μας δίνει την εντύπωση ότι για μικρές τιμές ρεύματος, οι αντίστοιχες τιμές της τάσης παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια. Πράγματι, το EXCEL για ρεύμα ≤ 60 Ampere δίνει μέση τιμή τάσης ίση με

$$(\text{average voltage})_1 = 461,318$$

και τυπική απόκλιση

$$s_1 = 148,926.$$

Έτσι, έχουμε συντελεστή μεταβολής

$$148,926/461,318 = 32,3\%,$$

τιμή που υπερβαίνει κατά πολύ το 10%, οπότε επιβεβαιώνεται η ανομοιογένεια.

2) Για τις λίγες παρατηρήσεις που αντιστοιχούν σε «μεγάλη» τιμή ρεύματος, έχουμε μέση τάση

$$(\text{average voltage})_2 = 486,3,$$

τυπική απόκλιση

$$s_2 = 70,73$$

και συντελεστή μεταβολής

$$70,73/486,3 = 14,5\%.$$

Ο συντελεστής μεταβολής είναι μεν μεγαλύτερος του 10%, όμως τόσο, ώστε να μπορούμε να δεχθούμε ομοιογένεια.

Πίνακας τιμών για το γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - μέγ. εξαγόμενου ρεύματος:

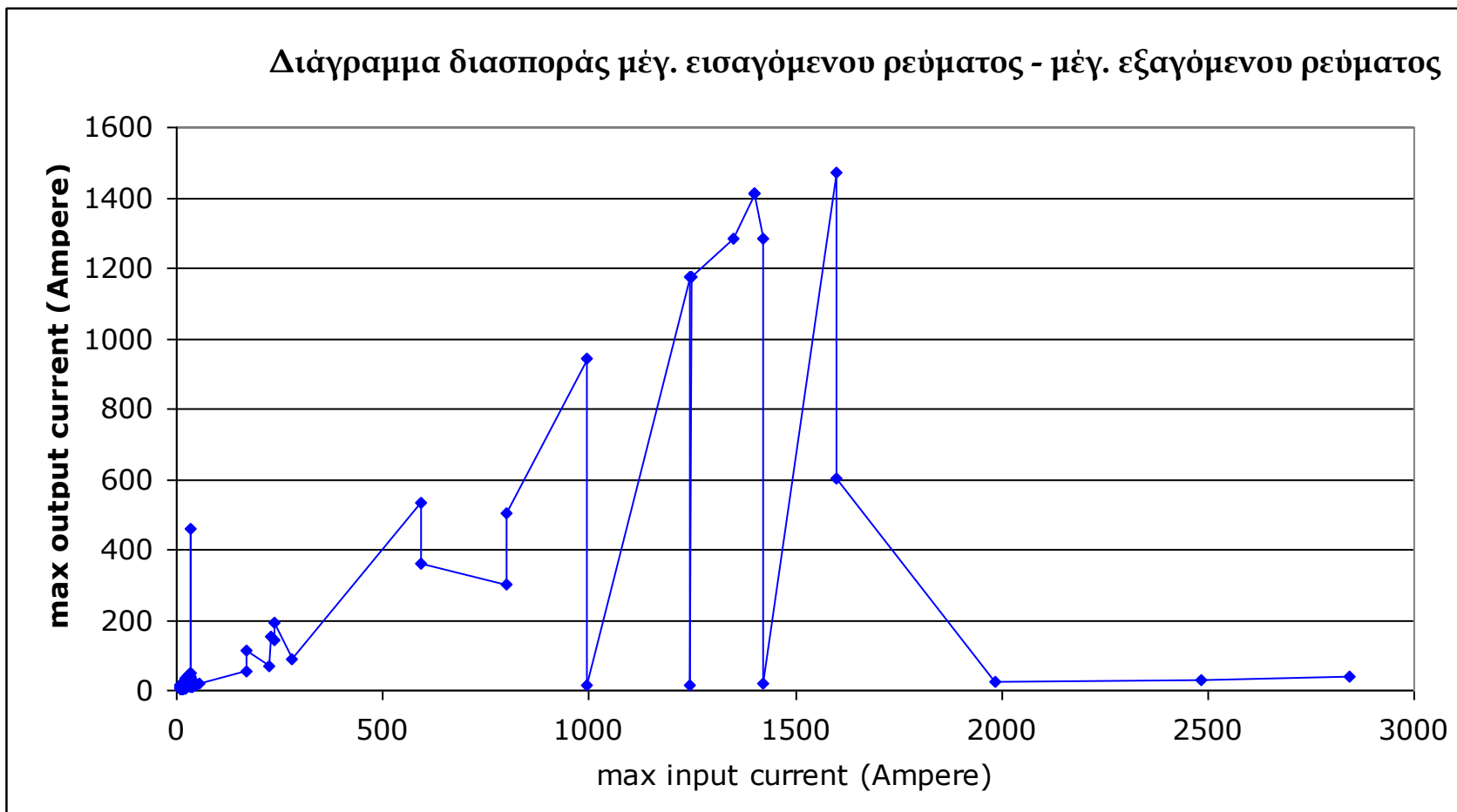
Χ-άξονας: max input current,

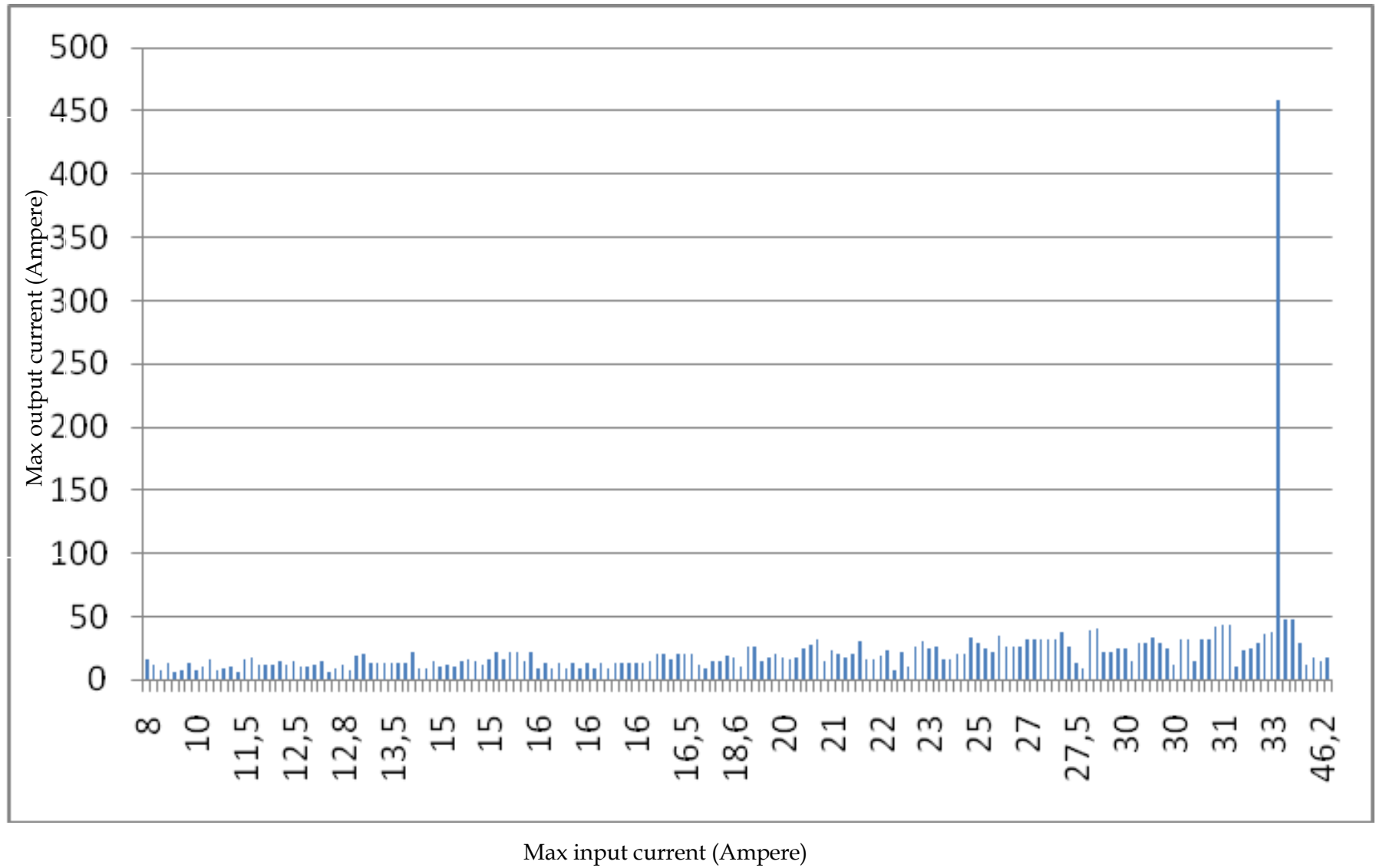
Υ-άξονας: max output current

α/α	Μοντέλο	max input current	max output current	α/α	Μοντέλο	max input current	max output current
1	PIKO 3.6	8	15,7	61	SOLAREEDGE SE 9K	15	14,5
2	SOLAREEDGE SE2200	8,5	12	62	SOLAREEDGE SE4000	15,5	22
3	SOLAREEDGE SE 5K	8,5	8	63	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	16	9
4	FRONIUS IG TL 3,	8,8	13	64	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	13,5
5	SOLARMAX 2000	9		65	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	16	9
6	PIKO 4.2	9	6,1	66	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	13,5
7	PIKO 5.5	9	8	67	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	9
8	PIKO 3.0	9	13,1	68	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	13,5
9	Sunny Boy 1.5	10	7	69	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	9
10	Sunny Boy 2.5	10	11	70	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	13,5
11	FRONIUS IG TL 3,6	10,8	16	71	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	9
12	Sunny Boy 1300 TL	11	7,2	72	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	13,5
13	Sunny Boy 1600 TL	11	8,9	73	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	9
14	BLUEPLANET 2,0 TL1	11		74	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	13,5
15	Sunny Boy 2100 TL	11	11	75	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	16	13,5
16	BLUEPLANET 2,6 TL1	11		76	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	16	13,5
17	PIKO 4.6	11	6,7	77	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	16	13,5
18	SOLAREEDGE SE3000	11,5	16,5	78	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	16	13,5
19	FRONIUS IG TL 4,0	11,8	17,4	79	FRONIUS IG PLUS35V-1	16,2	15,2
20	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	11,9	11,3	80	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	20
21	Sunny Boy 2000HF	12	11,4	81	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	20
22	Sunny Boy 2500	12	12,5	82	SOLAREEDGE SE 10K	16,5	16
23	Sunny Boy 3000	12	15	83	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	20
24	SOLAREEDGE SE 7K	12	11,5	84	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	20
25	POWER-ONE PVI 3.0-TL	12,5	14,5	85	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	16,5	20
26	UNO.2.0-I-OUTD	12,5	10	86	FRONIUS GALVO 2,5-1	16,6	12,1
27	PIKO 7.0	12,5	10,2	87	SOLARMAX 4000	17,5	
28	PIKO 8.3	12,5	12	88	FRONIUS GALVO 2,0-1	17,8	9,7
29	PIKO 10.1	12,5	14,5	89	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	18	15
30	Sunny Boy 1200	12,6	6,1	90	Sunny Boy 3000TL-US 240V	18	15
31	Sunny Boy 1700	12,6	8,6	91	PIKO 12	18	19,3
32	UNO.2.5-I-OUTD	12,8	12	92	Powador 4002	18,5	
33	FRONIUS GALVO 1,5-1	13,3	7,2	93	FRONIUS IG PLUS50V-1	18,6	17,4
34	Powador 3002	13,5		94	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	18,9	10
35	SOLARMAX 3000	13,5		95	Sunny Mini Central 6000TL	19	27
36	SOLAREEDGE SE3500	13,5	19,5	96	SOLAREEDGE SE5000	19,5	27
37	FRONIUS IG TL 4,6	13,5	20	97	FRONIUS GALVO 3.0-1	19,8	14,5
38	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	13,5	13,5	98	POWER-ONE PVI 3.6-TL	20	17,2
39	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	13,5	13,5	99	POWER-ONE PVI 4,2-TL	20	20
40	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	13,5	13,5	100	Sunny Boy 3300	20	18
41	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	13,5	13,5	101	Sunny Boy 3800/V	20	16
42	SOLAREEDGE SE 8K	13,5	13	102	Sunny Boy 3800	20	18
43	FRONIUS IG PLUS 30V-1	13,8	13	103	PIKO 15	20	24,2
44	Powador 2002	14,3		104	PIKO 17	20	27,4
45	FRONIUS IG TL 5,0	14,7	21,7	105	PIKO 20	20	32,2
46	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	15	9,3	106	FRONIUS GALVO 3,1-1	20,7	15
47	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	15	9,6	107	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	21	24
48	Sunny Boy 2500HF	15	14,2	108	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	21	21
49	Sunny Boy 2500 TL	15	10,9	109	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	21	18
50	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	15	12	110	SOLAREEDGE SE 12,5K	21	20
51	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	15	10,4	111	BLUEPLANET 3,0 TL1	22	
52	Sunny Boy 3000HF	15	15	112	BLUEPLANET 3,5 TL1	22	
53	Sunny Boy 3000TL	15	16	113	BLUEPLANET 3,7 TL1	22	
54	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	15	14,4	114	BLUEPLANET 4,0 TL1	22	
55	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	15	12,5	115	SOLARMAX 4600	22	
56	Sunny Boy 3600TL	15	16	116	SOLARMAX 5000	22	
57	Sunny Boy 4000TL	15	22	117	Powador 6.0 TL3	22	
58	Sunny Boy 3600 Smart Energy	15	16	118	Sunny Mini Central 7000TL	22	31
59	Sunny Boy 5000TL	15	22	119	Powador 7,8TL3	22	
60	Sunny Boy 5000 Smart Energy	15	22	120	Sunny Tripower 8000TL	22	16

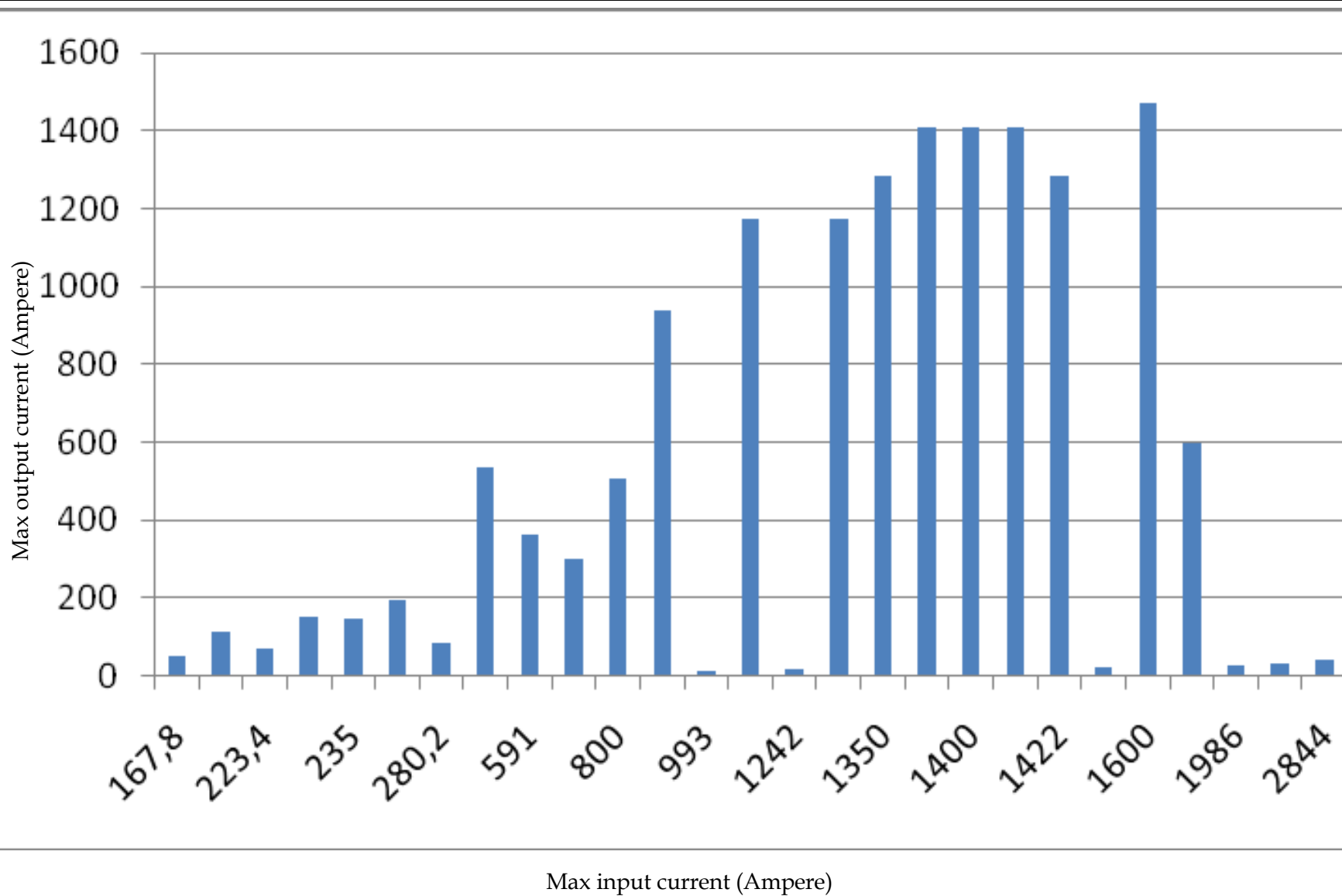
α/α	Μοντέλο	max input current	max output current
121	Powador 9.0 TL3	22	
122	Powador 10.0 TL3	22	
123	Sunny Tripower 10000TL	22	16
124	Sunny Tripower 12000TL	22	19,2
125	SOLAREEDGE SE 15K	22	23
126	Powador 5002	22,4	
127	FRONIUS IG PLUS 55V-3	22,8	7,3
128	FRONIUS IG PLUS 55V-1	22,9	21,7
129	FRONIUS IG PLUS 55V-2	22,9	10,9
130	SOLAREEDGE SE6000	23	27
131	Sunny Mini Central 7000HV	23	31
132	SOLAREEDGE SE 16K	23	25,5
133	SOLAREEDGE SE 17K	23	26
134	Sunny Boy 3800TL-US 208V	24	16
135	Sunny Boy 3800TL-US 240V	24	16
136	Sunny Boy 4000TL-US 208V	24	20
137	Sunny Boy 4000TL-US 240V	24	20
138	Sunny Boy 8000TL-US 240V	24,1	33,4
139	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	25	29
140	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	25	25
141	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	25	22
142	Sunny Mini Central 8000TL	25	35
143	Sunny Mini Central 4600A	26	26
144	Sunny Mini Central 5000A	26	26
145	Sunny Mini Central 6000A	26	26
146	Powador 6002	26,5	
147	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	27	32
148	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	32
149	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	32
150	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	32
151	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	32
152	Sunny Boy 9000TL-US 240V	27,1	37,5
153	FRONIUS IG PLUS 60V-1	27,5	26,1
154	FRONIUS IG PLUS 60V-2	27,5	13
155	FRONIUS IG PLUS 60V-3	27,5	8,7
156	Sunny Boy 8000TL-US 208V	27,9	38,5
157	Sunny Mini Central 9000TL	28	40
158	Sunny Boy 5000TL-US 208V	30	22
159	Sunny Boy 5000TL-US 240V	30	22
160	Sunny Boy 6000TL-US 208V	30	25
161	Sunny Boy 6000TL-US 240V	30	25
162	FRONIUS IG PLUS 70V-2	30	14,1
163	Sunny Boy 7000TL-US 208V	30	29,2
164	Sunny Boy 7000TL-US 240V	30	29,2
165	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	30	34
166	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	30	29
167	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	30	25
168	POWER-ONE TRIO-7,5-TL-OUTD	30	12,5
169	Sunny Boy 7700TL-US 208V	30	32
170	Sunny Boy 7700TL-US 240V	30	32
171	POWER-ONE TRIO-8,5-TL-OUTD	30	15,5
172	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	30	32
173	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	30	32
174	Sunny Boy 10000TL-US 240V	30,2	41,7
175	Sunny Mini Central 10000TL	31	44
176	Sunny Boy 9000TL-US 208V	31,4	43,3
177	FRONIUS IG PLUS 80V-3	32	10,2
178	Sunny Tripower 15000TL	33	24
179	Sunny Tripower 17000TL	33	24,6
180	Sunny Tripower 20000TL	33	29

α/α	Μοντέλο	max input current	max output current
181	Sunny Tripower 25000TL	33	36,2
182	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	33	38
183	Sunny Boy 11000TL-US 240V	33,3	458
184	Sunny Mini Central 11000TL	34	48
185	Sunny Boy 10000TL-US 208V	35	48,1
186	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	36	29
187	FRONIUS IG PLUS 100V-3	36,7	11,6
188	FRONIUS IG PLUS 100V-2	37,1	17,4
189	Powador 12.0 TL3	37,2	
190	Powador 14.0 TL3	37,2	
191	Powador 18.0 TL3	37,2	
192	Powador 20.0 TL3	37,2	
193	FRONIUS IG PLUS 120V-3	46,2	14,5
194	FRONIUS IG PLUS 150V-3	55,6	17,4
195	Powador 30.0 TL3	102	
196	Powador 33.0 TL3	102	
197	Powador 36.0 TL3	102	
198	Powador 39.0 TL3	102	
199	Powador 48.0 TL3	102	
200	Powador 60.0 TL3	102	
201	Powador 72.0 TL3	108	
202	FRONIUS CL36,0	167,8	52,2
203	FRONIUS AGILO 75,0-3	170	114,4
204	FRONIUS CL48,0	223,4	69,6
205	FRONIUS AGILO 100,0-3	227	152,6
206	Sunny Central Outdoor/Indoor	235	145
207	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	235	193
208	FRONIUS CL60,0	280,2	87
209	Sunny Central 250HE	591	535
210	Sunny Central 250	591	361
211	Sunny Central 250-US	800	300
212	Sunny Central 350	800	505
213	Sunny Central 400HE	993	941
214	Sunny Central 400MV	993	12,7
215	Sunny Central 500HE	1242	1176
216	Sunny Central 500MV	1242	15,9
217	Sunny Central 500CP	1250	1176
218	Sunny Central 630CP	1350	1283
219	Sunny Central 720CP	1400	1411
220	Sunny Central 760CP	1400	1411
221	Sunny Central 800CP	1400	1411
222	Sunny Central 630HE	1422	1283
223	Sunny Central 630MV	1422	20,2
224	Sunny Central 500HE-US	1600	1470
225	Sunny Central 500-US	1600	600
226	Sunny Central 800MV	1986	25,4
227	Sunny Central 1000MV	2484	31,8
228	Sunny Central 1250MV	2844	40,4



Ραβδόγραμμα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - μέγ. εξαγόμενου ρεύματος (input current < 60 A)

Ραβδόγραμμα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - μέγ. εξαγόμενου ρεύματος (input current > 60 A)



Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

1) Στους πίνακες των σελίδων 106 – 107, καταγράφονται 197 περιπτώσεις συνολικά (παραλείπουμε τις εγγραφές που περιέχουν κενά κελιά).

Μόνο σε 21 από αυτές (ποσοστό 10,6%) το ρεύμα εξόδου ξεπερνά τα 55 A, ανεξάρτητα από το ρεύμα εισόδου.

2) Το EXCEL υπολογίζει τις εξής μέσες τιμές:

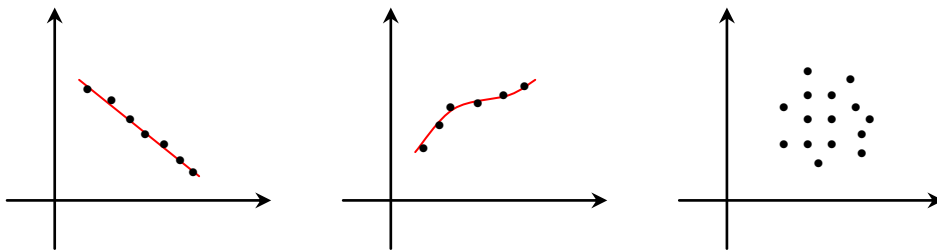
μέσο ρεύμα εισόδου = 164,6 A

μέσο ρεύμα εξόδου = 94,5 A.

Υπολογίζει ακόμη ότι σε 27 περιπτώσεις (ποσοστό 13,7%) το ρεύμα εισόδου ξεπερνά τη μέση τιμή του, ενώ σε 19 περιπτώσεις (ποσοστό 9,6%) το ρεύμα εξόδου ξεπερνά τη μέση τιμή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΠΕΡΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

6.1 Γενικά Θεωρούμε μια μεταβλητή X με τιμές x_1, x_2, \dots, x_n και μια μεταβλητή Y με αντίστοιχες τιμές y_1, y_2, \dots, y_n . Σημειώνουμε τα σημεία $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και παίρνουμε ένα «σμήνος» σημείων που το ονομάζουμε **διάγραμμα διασποράς**. Με βάση το διάγραμμα διασποράς σχεδιάζουμε μια καμπύλη η οποία προσεγγίζει τα δεδομένα (διέρχεται δηλ. απ' όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία του διαγράμματος διασποράς ή όσο το δυνατόν πλησιέστερα σ' αυτά) και την οποία ονομάζουμε **προσεγγιστική καμπύλη** ή **καμπύλη παλινδρόμησης** της Y πάνω στη X (τα σημεία του σμήνους παλινδρομούν γύρω από την καμπύλη). Στο πρώτο εκ των σχημάτων που ακολουθούν, η προσεγγιστική καμπύλη είναι μια ευθεία, υπάρχει δηλ. ένα είδος γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των X και Y . Στο δεύτερο σχήμα παρατηρείται μια μη γραμμική συσχέτιση μεταξύ των X, Y , ενώ στο τρίτο σχήμα οι δύο μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες.



σχήμα 6.1

Ανάλογα με το αν η καμπύλη που προσαρμόζεται σ' ένα διάγραμμα διασποράς είναι ευθεία ή πολυωνυμική ή π.χ. εκθετική μιλάμε για γραμμική ή πολυωνυμική ή εκθετική συσχέτιση και ένα μέγεθος που μας πληροφορεί για το πόσο «καλή» είναι η καμπύλη που προσαρμόζεται στα δεδομένα, είναι ο **συντελεστής προσδιορισμού** R^2 που παίρνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πλησιέστερα στον 1 βρίσκεται η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού, τόσο πιο βέβαιοι είμαστε για το ότι επιλέξαμε μια καμπύλη που προσαρμόζεται «καλά» στα δεδομένα μας. Εάν η τιμή του R^2 είναι κοντά στο 0 οι μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες (δεν αναμένουμε να

προσαρμόζεται στα δεδομένα κάποια καμπύλη). Στην περίπτωση της γραμμικής συσχέτισης, ο R παίρνει τιμές από -1 έως 1 και καλείται **συντελεστής γραμμικής συσχέτισης**. Εάν η απόλυτη τιμή του R είναι κοντά στον 1, σημαίνει πως μια ευθεία «περιγράφει» ικανοποιητικά τα δεδομένα μας. Το EXCEL διαθέτει εργαλεία που μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε το συντελεστή προσδιορισμού και την εξίσωση $y = f(x)$ της καμπύλης παλινδρόμησης με τη **μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων**. Η εξίσωση αυτή με τη σειρά της, μας επιτρέπει να κάνουμε προβλέψεις, αφού για δεδομένη τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής X μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y.

Στο κεφάλαιο αυτό προσπαθούμε να διερευνήσουμε τον τρόπο με τον οποίο συσχετίζονται κάποιες μεταβλητές από τη βάση δεδομένων μας. Οι μεταβλητές που έχουν επιλεγεί είναι:

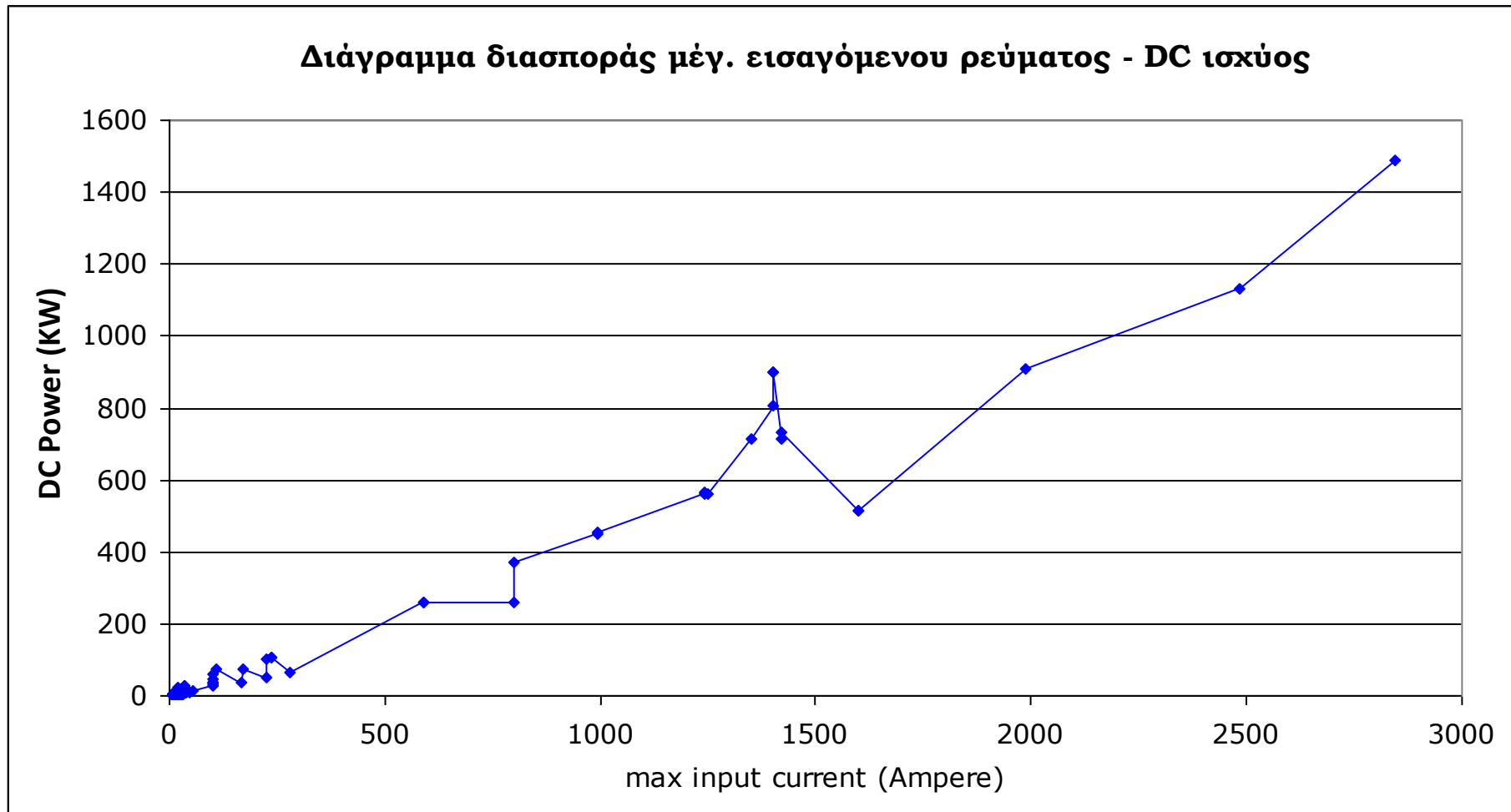
- X-άξονας: max input current, Y-άξονας: DC Power
- X-άξονας: max input current * max input voltage
Y-άξονας: Maximum DC power
- X-άξονας: max input voltage - min input voltage
Y-άξονας: Maximum DC power
- X-άξονας: (max input voltage + min input voltage)/2
Y-άξονας: Maximum DC power

6.2 Οι μεταβλητές X: max input current, Y: DC Power

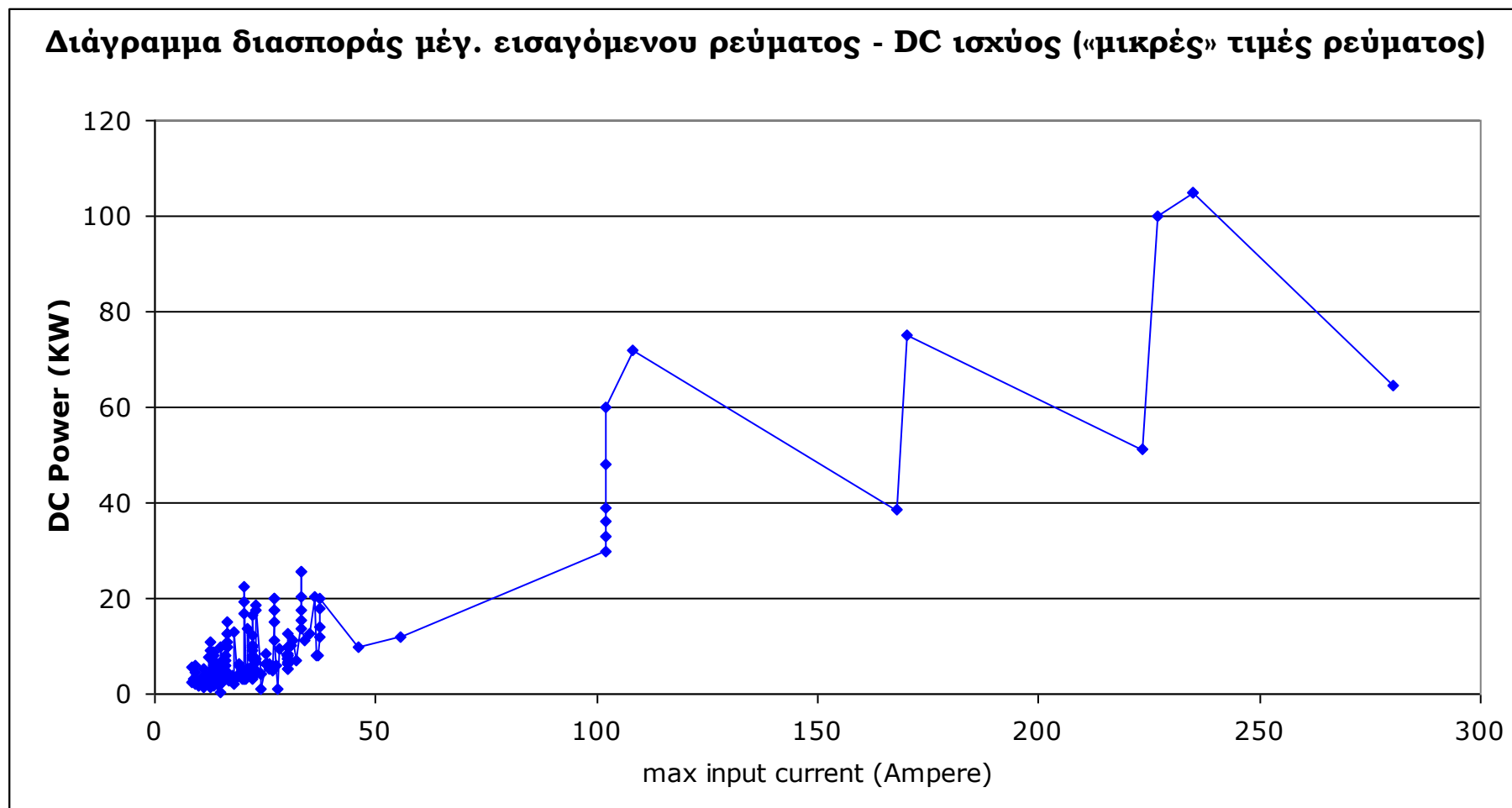
Πίνακας τιμών για το Γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - DC ισχύος:
X-άξονας: max input current, Y-άξονας: DC Power

α/α	Μοντέλο	max input current	DC Power	α/α	Μοντέλο	max input current	DC Power
1	PIKO 3.6	8		61	SOLAREEDGE SE 9K	15	9900
2	SOLAREEDGE SE2200	8,5	2400	62	SOLAREEDGE SE4000	15,5	4400
3	SOLAREEDGE SE 5K	8,5	5500	63	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	16	3000
4	FRONIUS IG TL 3,	8,8	3000	64	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	3000
5	SOLARMAX 2000	9	2000	65	FRONIUS SYMO 3.0-3-S	16	3000
6	PIKO 4.2	9	4620	66	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16	3000
7	PIKO 5.5	9	6050	67	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	3700
8	PIKO 3.0	9		68	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	3700
9	Sunny Boy 1.5	10	1600	69	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16	3700
10	Sunny Boy 2.5	10	1600	70	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16	3700
11	FRONIUS IG TL 3,6	10,8	3680	71	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	4500
12	Sunny Boy 1300 TL	11	1400	72	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	4500
13	Sunny Boy 1600 TL	11	1700	73	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16	4500
14	BLUEPLANET 2,0 TL1	11	2000	74	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16	4500
15	Sunny Boy 2100 TL	11	2200	75	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	16	5000
16	BLUEPLANET 2,6 TL1	11	2600	76	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	16	6000
17	PIKO 4.6	11	5100	77	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	16	7000
18	SOLAREEDGE SE3000	11,5	3300	78	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	16	8200
19	FRONIUS IG TL 4,0	11,8	4000	79	FRONIUS IG PLUS35V-1	16,2	3500
20	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	11,9	2600	80	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	10000
21	Sunny Boy 2000HF	12	2100	81	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16,5	10000
22	Sunny Boy 2500	12	2700	82	SOLAREEDGE SE 10K	16,5	11000
23	Sunny Boy 3000	12	3200	83	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	12500
24	SOLAREEDGE SE 7K	12	7700	84	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16,5	12500
25	POWER-ONE PVI 3.0-TL	12,5	2000	85	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	16,5	15000
26	UNO.2.0-I-OUTD	12,5	2300	86	FRONIUS GALVO 2,5-1	16,6	2650
27	PIKO 7.0	12,5	7700	87	SOLARMAX 4000	17,5	4000
28	PIKO 8.3	12,5	9130	88	FRONIUS GALVO 2,0-1	17,8	2140
29	PIKO 10.1	12,5	11000	89	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	18	3200
30	Sunny Boy 1200	12,6	1320	90	Sunny Boy 3000TL-US 240V	18	3200
31	Sunny Boy 1700	12,6	1850	91	PIKO 12	18	12900
32	UNO.2.5-I-OUTD	12,8	2900	92	Powador 4002	18,5	3500
33	FRONIUS GALVO 1,5-1	13,3	1600	93	FRONIUS IG PLUS50V-1	18,6	4000
34	Powador 3002	13,5	2500	94	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	18,9	5800
35	SOLARMAX 3000	13,5	3000	95	Sunny Mini Central 6000TL	19	6200
36	SOLAREEDGE SE3500	13,5	3900	96	SOLAREEDGE SE5000	19,5	5500
37	FRONIUS IG TL 4,6	13,5	4600	97	FRONIUS GALVO 3.0-1	19,8	3160
38	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	13,5	5000	98	POWER-ONE PVI 3.6-TL	20	3000
39	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	13,5	6000	99	POWER-ONE PVI 4,2-TL	20	3000
40	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	13,5	7000	100	Sunny Boy 3300	20	3820
41	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	13,5	8200	101	Sunny Boy 3800/V	20	3900
42	SOLAREEDGE SE 8K	13,5	8800	102	Sunny Boy 3800	20	4040
43	FRONIUS IG PLUS 30V-1	13,8	3000	103	PIKO 15	20	16900
44	Powador 2002	14,3	1650	104	PIKO 17	20	19200
45	FRONIUS IG TL 5,0	14,7	5000	105	PIKO 20	20	22600
46	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	15	200	106	FRONIUS GALVO 3,1-1	20,7	3310
47	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	15	2200	107	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	21	5300
48	Sunny Boy 2500HF	15	2600	108	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	21	5300
49	Sunny Boy 2500 TL	15	2650	109	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	21	5300
50	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	15	2750	110	SOLAREEDGE SE 12,5K	21	13700
51	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	15	2750	111	BLUEPLANET 3,0 TL1	22	3000
52	Sunny Boy 3000HF	15	3150	112	BLUEPLANET 3,5 TL1	22	3450
53	Sunny Boy 3000TL	15	3200	113	BLUEPLANET 3,7 TL1	22	3680
54	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	15	3300	114	BLUEPLANET 4,0 TL1	22	4000
55	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	15	3300	115	SOLARMAX 4600	22	4600
56	Sunny Boy 3600TL	15	3880	116	SOLARMAX 5000	22	5000
57	Sunny Boy 4000TL	15	4200	117	Powador 6.0 TL3	22	6000
58	Sunny Boy 3600 Smart Energy	15	5200	118	Sunny Mini Central 7000TL	22	7200
59	Sunny Boy 5000TL	15	5250	119	Powador 7,8TL3	22	7800
60	Sunny Boy 5000 Smart Energy	15	6600	120	Sunny Tripower 8000TL	22	8200

α/α	Μοντέλο	max input current	DC Power	α/α	Μοντέλο	max input current	DC Power
121	Powador 9.0 TL3	22	9000	181	Sunny Tripower 25000TL	33	25550
122	Powador 10.0 TL3	22	10000	182	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	33	25550
123	Sunny Tripower 10000TL	22	10200	183	Sunny Boy 11000TL-US 240V	33,3	13750
124	Sunny Tripower 12000TL	22	12250	184	Sunny Mini Central 11000TL	34	11400
125	SOLAREEDGE SE 15K	22	16500	185	Sunny Boy 10000TL-US 208V	35	12500
126	Powador 5002	22,4	4200	186	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	36	20450
127	FRONIUS IG PLUS 55V-3	22,8	5000	187	FRONIUS IG PLUS 100V-3	36,7	8000
128	FRONIUS IG PLUS 55V-1	22,9	5000	188	FRONIUS IG PLUS 100V-2	37,1	8000
129	FRONIUS IG PLUS 55V-2	22,9	5000	189	Powador 12.0 TL3	37,2	12000
130	SOLAREEDGE SE6000	23	6600	190	Powador 14.0 TL3	37,2	14000
131	Sunny Mini Central 7000HV	23	7500	191	Powador 18.0 TL3	37,2	18000
132	SOLAREEDGE SE 16K	23	17600	192	Powador 20.0 TL3	37,2	20000
133	SOLAREEDGE SE 17K	23	18700	193	FRONIUS IG PLUS 120V-3	46,2	10000
134	Sunny Boy 3800TL-US 208V	24	4200	194	FRONIUS IG PLUS 150V-3	55,6	12000
135	Sunny Boy 3800TL-US 240V	24	4200	195	Powador 30.0 TL3	102	30000
136	Sunny Boy 4000TL-US 208V	24	4200	196	Powador 33.0 TL3	102	33000
137	Sunny Boy 4000TL-US 240V	24	4200	197	Powador 36.0 TL3	102	36000
138	Sunny Boy 8000TL-US 240V	24,1	1000	198	Powador 39.0 TL3	102	39000
139	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	25	6350	199	Powador 48.0 TL3	102	48000
140	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	25	6350	200	Powador 60.0 TL3	102	60000
141	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	25	6350	201	Powador 72.0 TL3	108	72000
142	Sunny Mini Central 8000TL	25	8250	202	FRONIUS CL36,0	167,8	38600
143	Sunny Mini Central 4600A	26	5250	203	FRONIUS AGILO 75,0-3	170	75000
144	Sunny Mini Central 5000A	26	5750	204	FRONIUS CL48,0	223,4	51400
145	Sunny Mini Central 6000A	26	6300	205	FRONIUS AGILO 100,0-3	227	100000
146	Powador 6002	26,5	5000	206	Sunny Central Outdoor/Indoor	235	105000
147	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	27	15000	207	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	235	105000
148	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	17500	208	FRONIUS CL60,0	280,2	64400
149	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27	17500	209	Sunny Central 250HE	591	261000
150	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	20000	210	Sunny Central 250	591	262000
151	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27	20000	211	Sunny Central 250-US	800	260000
152	Sunny Boy 9000TL-US 240V	27,1	11250	212	Sunny Central 350	800	369000
153	FRONIUS IG PLUS 60V-1	27,5	6000	213	Sunny Central 400HE	993	448000
154	FRONIUS IG PLUS 60V-2	27,5	6000	214	Sunny Central 400MV	993	455000
155	FRONIUS IG PLUS 60V-3	27,5	6000	215	Sunny Central 500HE	1242	560000
156	Sunny Boy 8000TL-US 208V	27,9	1000	216	Sunny Central 500MV	1242	567000
157	Sunny Mini Central 9000TL	28	9300	217	Sunny Central 500CP	1250	560000
158	Sunny Boy 5000TL-US 208V	30	5300	218	Sunny Central 630CP	1350	713000
159	Sunny Boy 5000TL-US 240V	30	5300	219	Sunny Central 720CP	1400	808000
160	Sunny Boy 6000TL-US 208V	30	6300	220	Sunny Central 760CP	1400	898000
161	Sunny Boy 6000TL-US 240V	30	6300	221	Sunny Central 800CP	1400	898000
162	FRONIUS IG PLUS 70V-2	30	6500	222	Sunny Central 630HE	1422	713000
163	Sunny Boy 7000TL-US 208V	30	7300	223	Sunny Central 630MV	1422	733000
164	Sunny Boy 7000TL-US 240V	30	7300	224	Sunny Central 500HE-US	1600	513000
165	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	30	7400	225	Sunny Central 500-US	1600	516000
166	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	30	7400	226	Sunny Central 800MV	1986	909000
167	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	30	7400	227	Sunny Central 1000MV	2484	1133000
168	POWER-ONE TRIO-7,5-TL-OUTD	30	7500	228	Sunny Central 1250MV	2844	1488000
169	Sunny Boy 7700TL-US 208V	30	8000				
170	Sunny Boy 7700TL-US 240V	30	8000				
171	POWER-ONE TRIO-8,5-TL-OUTD	30	8500				
172	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	30	10000				
173	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	30	10000				
174	Sunny Boy 10000TL-US 240V	30,2	12500				
175	Sunny Mini Central 10000TL	31	10350				
176	Sunny Boy 9000TL-US 208V	31,4	11250				
177	FRONIUS IG PLUS 80V-3	32	7000				
178	Sunny Tripower 15000TL	33	15340				
179	Sunny Tripower 17000TL	33	17410				
180	Sunny Tripower 20000TL	33	20440				



Ακολουθεί το γράφημα μέγ. εισαγόμενου ρεύματος - DC ισχύος για «μικρές» τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής.



Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

Μια πρώτη ματιά στο γράφημα της σελίδας 115 μας οδηγεί να εικάσουμε ότι μεταξύ των μεταβλητών max input current και DC power φαίνεται να υπάρχει ενός είδους γραμμική συσχέτιση.

Πράγματι, το EXCEL δίνει συντελεστή προσδιορισμού ίσο με

$$R^2 = 0,9668.$$

Συνεπώς έχουμε συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ίσο με

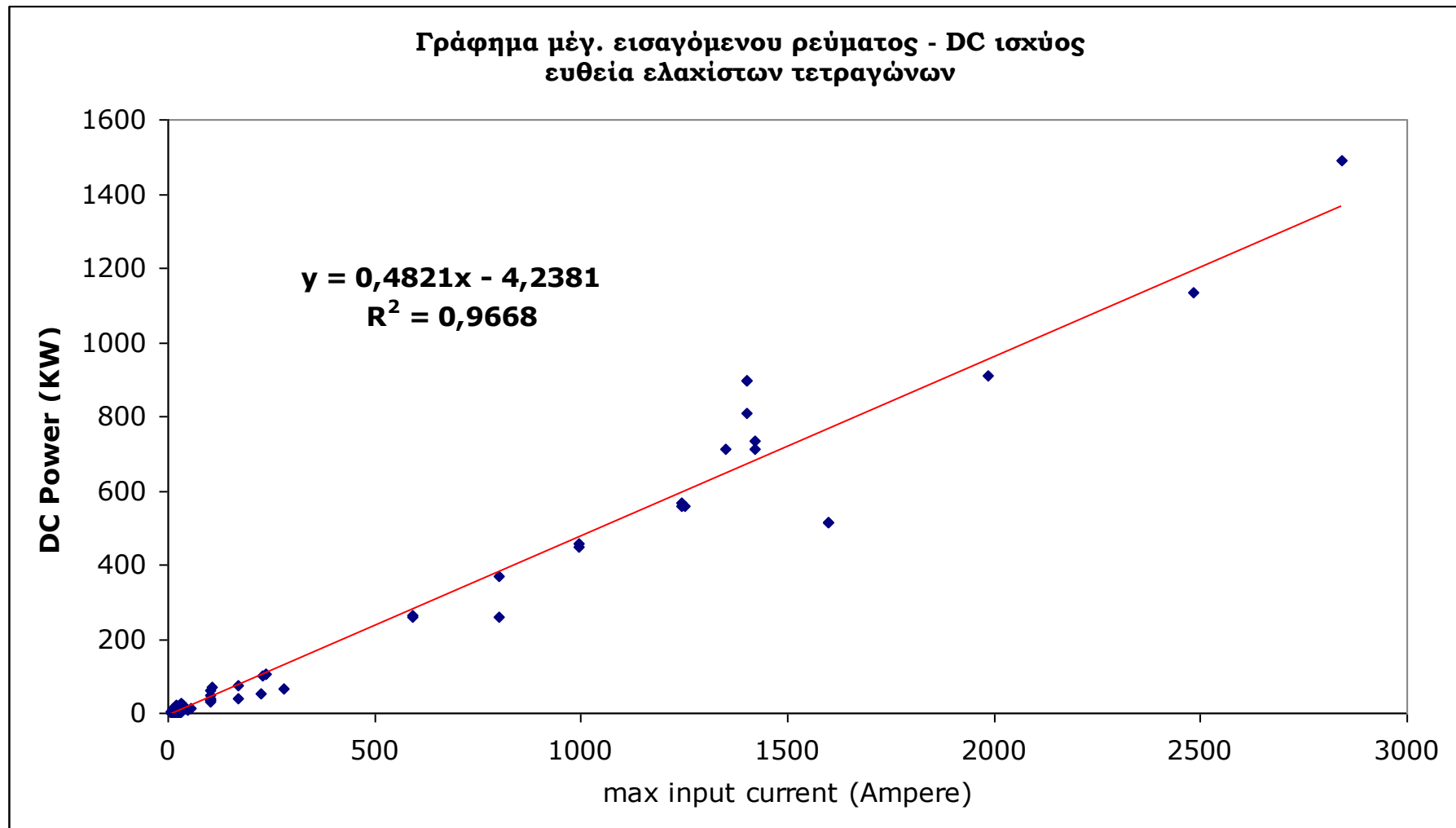
$$R = 0,9833,$$

τιμή πολύ κοντά στο 1 και άρα πρόκειται για πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση.

Στο σχήμα που ακολουθεί, έχουμε τα σημεία του διαγράμματος διασποράς της σελίδας 112 να παλινδρομούν γύρω από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων για την οποία το EXCEL δίνει την εξίσωση

$$y = 0,4821 \cdot x - 4,2381.$$

Δεδομένου ότι είναι $R \cong 1$, μπορούμε «με ασφάλεια» να θεωρήσουμε ότι οι μεταβλητές $X = \text{max input current}$ και $Y = \text{DC power}$ συνδέονται με την προηγούμενη εξίσωση



6.3 Οι μεταβλητές X: (max input current) * (max input voltage), Y: maximum DC power

Πίνακας τιμών για το Γράφημα:
 X-άξονας: (max input current)*(max input voltage), Y-άξονας: max DC Power

MIC

MIV

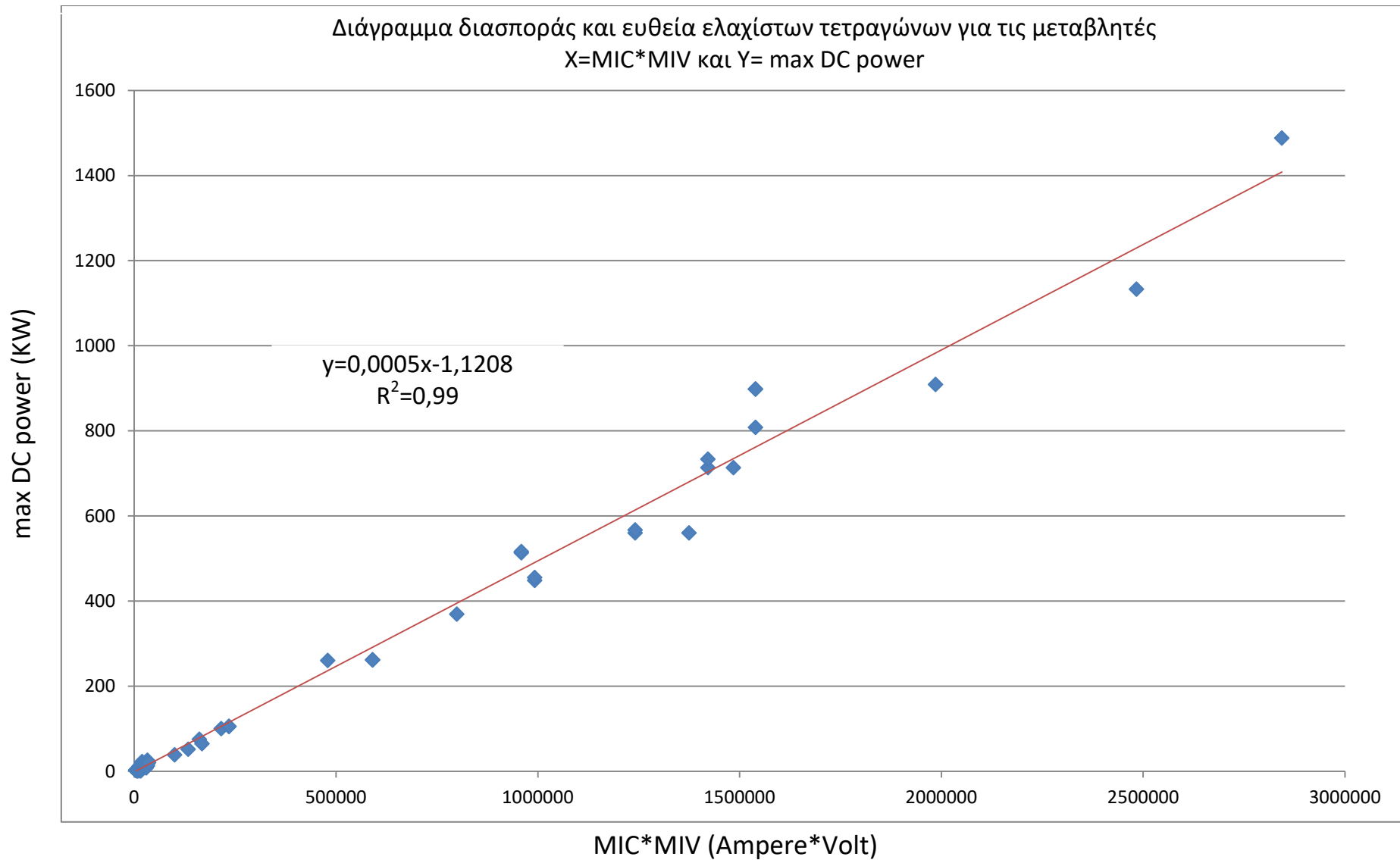
Οι εγγραφές που περιέχουν κενά κελιά
έχουν παραλειφθεί.

α/α	Μοντέλο	MIC*MIV	Max DC Power (KW)	α/α	Μοντέλο	MIC*MIV	Max DC Power (KW)
1	SOLAREEDGE SE2200	4250	2,4	51	Sunny Boy 3000TL	11250	3,2
2	Sunny Boy 1200	5040	1,32	52	Sunny Boy 3600TL	11250	3,88
3	Sunny Boy 1700	5040	1,85	53	Sunny Boy 4000TL	11250	4,2
4	SOLARMAX 2000	5400	2	54	Sunny Boy 3600 Smart Energy	11250	5,2
5	FRONIUS GALVO 1,5-1	5586	1,6	55	Sunny Boy 5000TL	11250	5,25
6	SOLAREEDGE SE3000	5750	3,3	56	Sunny Boy 5000 Smart Energy	11250	6,6
7	Sunny Boy 1.5	6000	1,6	57	FRONIUS GALVO 3,1-1	11385	3,31
8	Sunny Boy 2.5	6000	1,6	58	SOLAREEDGE SE 7K	11400	7,7
9	UNO.2.0-I-OUTD	6500	2,3	59	FRONIUS IG TL 4,6	11475	4,6
10	Sunny Boy 1300 TL	6600	1,4	60	SOLAREEDGE SE6000	11500	6,6
11	Sunny Boy 1600 TL	6600	1,7	61	PIKO 7.0	11875	7,7
12	Sunny Boy 2100 TL	6600	2,2	62	PIKO 8.3	11875	9,13
13	UNO.2.5-I-OUTD	6656	2,9	63	PIKO 10.1	11875	11
14	SOLAREEDGE SE3500	6750	3,9	64	POWER-ONE PVI 3.6-TL	12000	3
15	FRONIUS GALVO 2,5-1	6972	2,65	65	POWER-ONE PVI 4,2-TL	12000	3
16	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	7140	2,6	66	FRONIUS IG TL 5,0	12495	5
17	Sunny Boy 2500	7200	2,7	67	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	12600	5,3
18	Sunny Boy 3000	7200	3,2	68	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	12600	5,3
19	FRONIUS GALVO 2,0-1	7476	2,14	69	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	12600	5,3
20	FRONIUS IG TL 3,	7480	3	70	SOLAREEDGE SE 8K	12825	8,8
21	POWER-ONE PVI 3.0-TL	7500	2	71	SOLARMAX 4600	13200	4,6
22	SOLAREEDGE SE4000	7750	4,4	72	SOLARMAX 5000	13200	5
23	SOLAREEDGE SE 5K	8075	5,5	73	Sunny Mini Central 6000TL	13300	6,2
24	SOLARMAX 3000	8100	3	74	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	13500	5
25	FRONIUS IG PLUS 30V-1	8280	3	75	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	13500	6
26	Sunny Boy 2000HF	8400	2,1	76	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	13500	7
27	PIKO 4.2	8550	4,62	77	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	13500	8,2
28	PIKO 5.5	8550	6,05	78	FRONIUS IG PLUS 55V-3	13680	5
29	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	9000	0,2	79	FRONIUS IG PLUS 55V-1	13740	5
30	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	9000	2,2	80	FRONIUS IG PLUS 55V-2	13740	5
31	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	9000	2,75	81	SOLAREEDGE SE 9K	14250	9,9
32	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	9000	2,75	82	Sunny Boy 3800TL-US 208V	14400	4,2
33	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	9000	3,3	83	Sunny Boy 3800TL-US 240V	14400	4,2
34	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	9000	3,3	84	Sunny Boy 4000TL-US 208V	14400	4,2
35	FRONIUS IG TL 3,6	9180	3,68	85	Sunny Boy 4000TL-US 240V	14400	4,2
36	FRONIUS IG PLUS35V-1	9720	3,5	86	Sunny Boy 8000TL-US 240V	14460	1
37	SOLAREEDGE SE5000	9750	5,5	87	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	15000	6,35
38	Sunny Boy 3300	10000	3,82	88	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	15000	6,35
39	Sunny Boy 3800/V	10000	3,9	89	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	15000	6,35
40	Sunny Boy 3800	10000	4,04	90	Sunny Mini Central 7000TL	15400	7,2
41	FRONIUS IG TL 4,0	10030	4	91	Sunny Mini Central 4600A	15600	5,25
42	Sunny Boy 2500HF	10500	2,6	92	Sunny Mini Central 5000A	15600	5,75
43	Sunny Boy 3000HF	10500	3,15	93	Sunny Mini Central 6000A	15600	6,3
44	SOLARMAX 4000	10500	4	94	SOLAREEDGE SE 10K	15675	11
45	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	10800	3,2	95	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	16000	3
46	Sunny Boy 3000TL-US 240V	10800	3,2	96	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16000	3
47	FRONIUS GALVO 3.0-1	10890	3,16	97	FRONIUS SYMO 3.0-3-S	16000	3
48	PIKO 4.6	11000	5,1	98	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	16000	3
49	FRONIUS IG PLUS50V-1	11160	4	99	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16000	3,7
50	Sunny Boy 2500 TL	11250	2,65	100	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16000	3,7

α/α	Μοντέλο	MIC*MIV	Max DC Power (KW)
101	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	16000	3,7
102	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	16000	3,7
103	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16000	4,5
104	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16000	4,5
105	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	16000	4,5
106	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	16000	4,5
107	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	16000	5
108	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	16000	6
109	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	16000	7
110	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	16000	8,2
111	Sunny Boy 9000TL-US 240V	16260	11,25
112	FRONIUS IG PLUS 60V-1	16500	6
113	FRONIUS IG PLUS 60V-2	16500	6
114	FRONIUS IG PLUS 60V-3	16500	6
115	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16500	10
116	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	16500	10
117	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16500	12,5
118	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	16500	12,5
119	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	16500	15
120	Sunny Boy 8000TL-US 208V	16740	1
121	Sunny Mini Central 8000TL	17500	8,25
122	Sunny Boy 5000TL-US 208V	18000	5,3
123	Sunny Boy 5000TL-US 240V	18000	5,3
124	Sunny Boy 6000TL-US 208V	18000	6,3
125	Sunny Boy 6000TL-US 240V	18000	6,3
126	FRONIUS IG PLUS 70V-2	18000	6,5
127	Sunny Boy 7000TL-US 208V	18000	7,3
128	Sunny Boy 7000TL-US 240V	18000	7,3
129	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	18000	7,4
130	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	18000	7,4
131	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	18000	7,4
132	Sunny Boy 7700TL-US 208V	18000	8
133	Sunny Boy 7700TL-US 240V	18000	8
134	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	18000	10
135	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	18000	10
136	PIKO 12	18000	12,9
137	Sunny Boy 10000TL-US 240V	18120	12,5
138	Sunny Mini Central 7000HV	18400	7,5
139	Sunny Boy 9000TL-US 208V	18840	11,25
140	POWER-ONE TRIO-5.8-TL-OUTD	18900	5,8
141	FRONIUS IG PLUS 80V-3	19200	7
142	Sunny Mini Central 9000TL	19600	9,3
143	SOLAREEDGE SE 12,5K	19950	13,7
144	Sunny Boy 11000TL-US 240V	19980	13,75
145	PIKO 15	20000	16,9
146	PIKO 17	20000	19,2
147	PIKO 20	20000	22,6
148	SOLAREEDGE SE 15K	20900	16,5
149	Sunny Boy 10000TL-US 208V	21000	12,5
150	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	21700	10,35

α/α	Μοντέλο	MIC*MIV	Max DC Power (KW)
151	SOLAREEDGE SE 16K	21850	17,6
152	SOLAREEDGE SE 17K	21850	18,7
153	Sunny Tripower 8000TL	22000	8,2
154	Sunny Tripower 10000TL	22000	10,2
155	Sunny Tripower 12000TL	22000	12,25
156	FRONIUS IG PLUS 100V-3	22020	8
157	FRONIUS IG PLUS 100V-2	22260	8
158	Sunny Mini Central 11000TL	23800	11,4
159	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	27000	15
160	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27000	17,5
161	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	27000	17,5
162	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27000	20
163	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	27000	20
164	FRONIUS IG PLUS 120V-3	27720	10
165	POWER-ONE TRIO-7,5-TL-OUTD	30000	7,5
166	POWER-ONE TRIO-8,5-TL-OUTD	30000	8,5
167	Sunny Tripower 15000TL	33000	15,34
168	Sunny Tripower 17000TL	33000	17,41
169	Sunny Tripower 20000TL	33000	20,44
170	Sunny Tripower 25000TL	33000	25,55
171	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	33000	25,55
172	FRONIUS IG PLUS 150V-3	33360	12
173	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	36000	20,45
174	FRONIUS CL36,0	100680	38,6
175	FRONIUS CL48,0	134040	51,4
176	FRONIUS AGILO 75,0-3	161500	75
177	FRONIUS CL60,0	168120	64,4
178	FRONIUS AGILO 100,0-3	215650	100
179	Sunny Central Outdoor/Indoor	235000	105
180	Sunny Central Outdoor/Indoor HE	235000	105
181	Sunny Central 250-US	480000	260
182	Sunny Central 250HE	591000	261
183	Sunny Central 250	591000	262
184	Sunny Central 350	800000	369
185	Sunny Central 500HE-US	960000	513
186	Sunny Central 500-US	960000	516
187	Sunny Central 400HE	993000	448
188	Sunny Central 400MV	993000	455
189	Sunny Central 500HE	1242000	560
190	Sunny Central 500MV	1242000	567
191	Sunny Central 500CP	1375000	560
192	Sunny Central 630HE	1422000	713
193	Sunny Central 630MV	1422000	733
194	Sunny Central 630CP	1485000	713
195	Sunny Central 720CP	1540000	808
196	Sunny Central 760CP	1540000	898
197	Sunny Central 800CP	1540000	898
198	Sunny Central 800MV	1986000	909
199	Sunny Central 1000MV	2484000	1133
200	Sunny Central 1250MV	2844000	1488

Στο ακόλουθο διάγραμμα διασποράς, το EXCEL δίνει συντελεστή προσδιορισμού $R^2 \approx 1$, γεγονός που μας επιτρέπει να θεωρήσουμε πως η εξίσωση $y=0,0005x-1,1208$ περιγράφει ιδιαιτέρως ικανοποιητικά τη σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Έχουμε κι εδώ πολύ ισχυρή (σχεδόν τέλεια) γραμμική συσχέτιση.



6.4 Οι μεταβλητές X: (max input voltage) - (min input voltage), Y: maximum DC power

Πίνακας τιμών για το Γράφημα:
 X-άξονας: (max input voltage)-(min input voltage), Y-άξονας: max DC Power

maxIV

minIV

Οι εγγραφές που περιέχουν κενά κελιά έχουν παραλειφθεί.

α/α	μοντέλο	maxIV - minIV	max DC power (KW)	α/α	μοντέλο	maxIV - minIV	max DC power (KW)
1	Sunny Boy 8000TL-US 240V	255	1	46	FRONIUS IG PLUS 60V-3	370	6
2	Sunny Boy 9000TL-US 240V	255	11,25	47	Sunny Mini Central 6000TL	370	6,2
3	Sunny Boy 10000TL-US 240V	255	12,5	48	FRONIUS IG PLUS 70V-2	370	6,5
4	Sunny Boy 11000TL-US 240V	255	13,75	49	FRONIUS IG PLUS 80V-3	370	7
5	Sunny Boy 1700	261	1,85	50	Sunny Mini Central 7000TL	370	7,2
6	Sunny Central 250-US	270	260	51	FRONIUS IG PLUS 100V-2	370	8
7	Sunny Central 500HE-US	270	513	52	FRONIUS IG PLUS 100V-3	370	8
8	Sunny Central 500-US	270	516	53	Sunny Mini Central 8000TL	370	8,25
9	Sunny Boy 8000TL-US 208V	300	1	54	FRONIUS IG PLUS 120V-3	370	10
10	Sunny Boy 1200	300	1,32	55	FRONIUS IG PLUS 150V-3	370	12
11	FRONIUS GALVO 1,5-1	300	1,6	56	FRONIUS CL36,0	370	38,6
12	FRONIUS GALVO 2,0-1	300	2,14	57	FRONIUS CL48,0	370	51,4
13	FRONIUS GALVO 2,5-1	300	2,65	58	FRONIUS CL60,0	370	64,4
14	Sunny Boy 3300	300	3,82	59	Sunny Boy 2500	376	2,7
15	Sunny Boy 3800/V	300	3,9	60	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	380	2,75
16	Sunny Boy 3800	300	4,04	61	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	380	2,75
17	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	300	10	62	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	380	3,3
18	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	300	10	63	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	380	3,3
19	Sunny Boy 9000TL-US 208V	300	11,25	64	FRONIUS GALVO 3.0-1	385	3,16
20	Sunny Boy 10000TL-US 208V	300	12,5	65	FRONIUS GALVO 3,1-1	385	3,31
21	Sunny Boy 3000	332	3,2	66	Sunny Mini Central 4600A	389	5,25
22	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	350	5,3	67	Sunny Mini Central 5000A	389	5,75
23	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	350	5,3	68	Sunny Mini Central 6000A	389	6,3
24	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	350	5,3	69	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	425	0,2
25	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	350	6,35	70	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	425	2,2
26	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	350	6,35	71	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	430	20,45
27	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	350	6,35	72	Sunny Boy 1300 TL	475	1,4
28	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	350	7,4	73	Sunny Boy 1600 TL	475	1,7
29	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	350	7,4	74	Sunny Boy 2100 TL	475	2,2
30	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	350	7,4	75	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	475	3,2
31	Sunny Mini Central 9000TL	367	9,3	76	Sunny Boy 3000TL-US 240V	475	3,2
32	Sunny Mini Central 10000TL	367	10,35	77	Sunny Boy 3800TL-US 208V	475	4,2
33	Sunny Mini Central 11000TL	367	11,4	78	Sunny Boy 3800TL-US 240V	475	4,2
34	POWER-ONE PVI 3.0-TL	370	2	79	Sunny Boy 4000TL-US 208V	475	4,2
35	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	370	2,6	80	Sunny Boy 4000TL-US 240V	475	4,2
36	FRONIUS IG PLUS 30V-1	370	3	81	Sunny Boy 5000TL-US 208V	475	5,3
37	POWER-ONE PVI 3.6-TL	370	3	82	Sunny Boy 5000TL-US 240V	475	5,3
38	POWER-ONE PVI 4,2-TL	370	3	83	Sunny Boy 6000TL-US 208V	475	6,3
39	FRONIUS IG PLUS35V-1	370	3,5	84	Sunny Boy 6000TL-US 240V	475	6,3
40	FRONIUS IG PLUS50V-1	370	4	85	Sunny Boy 7000TL-US 208V	475	7,3
41	FRONIUS IG PLUS 55V-1	370	5	86	Sunny Boy 7000TL-US 240V	475	7,3
42	FRONIUS IG PLUS 55V-2	370	5	87	Sunny Boy 7700TL-US 208V	475	8
43	FRONIUS IG PLUS 55V-3	370	5	88	Sunny Boy 7700TL-US 240V	475	8
44	FRONIUS IG PLUS 60V-1	370	6	89	SOLARMAX 2000	480	2
45	FRONIUS IG PLUS 60V-2	370	6	90	SOLARMAX 3000	480	3

α/α	μοντέλο	maxIV - minIV	max DC power (KW)	α/α	μοντέλο	maxIV - minIV	max DC power (KW)
91	SOLARMAX 4000	480	4	136	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	800	10
92	SOLARMAX 4600	480	4,6	137	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	800	10
93	SOLARMAX 5000	480	5	138	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	800	12,5
94	FRONIUS AGILO 75,0-3	490	75	139	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	800	12,5
95	FRONIUS AGILO 100,0-3	490	100	140	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	800	15
96	FRONIUS IG TL 3,	500	3	141	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	800	15
97	FRONIUS IG TL 3,6	500	3,68	142	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	800	17,5
98	FRONIUS IG TL 4,0	500	4	143	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	800	17,5
99	FRONIUS IG TL 4,6	500	4,6	144	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	800	20
100	FRONIUS IG TL 5,0	500	5	145	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	800	20
101	Sunny Central 630HE	500	713	146	PIKO 4.6	840	5,1
102	Sunny Central 630MV	500	733	147	PIKO 12	840	12,9
103	Sunny Central 1250MV	500	1488	148	PIKO 15	840	16,9
104	Sunny Mini Central 7000HV	510	7,5	149	PIKO 17	840	19,2
105	Sunny Boy 2000HF	525	2,1	150	PIKO 20	840	22,6
106	Sunny Boy 2500HF	525	2,6	151	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	850	3
107	Sunny Boy 3000HF	525	3,15	152	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	850	3
108	Sunny Central 800CP	532	898	153	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	850	3
109	Sunny Boy 1.5	550	1,6	154	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	850	3
110	Sunny Boy 2.5	550	1,6	155	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	850	3,7
111	Sunny Central 250HE	550	261	156	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	850	3,7
112	Sunny Central 250	550	262	157	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	850	3,7
113	Sunny Central 400HE	550	448	158	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	850	3,7
114	Sunny Central 400MV	550	455	159	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	850	4,5
115	Sunny Central 500HE	550	560	160	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	850	4,5
116	Sunny Central 500MV	550	567	161	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	850	4,5
117	Sunny Central 800MV	550	909	162	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	850	4,5
118	Sunny Central 1000MV	550	1133	163	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	850	5
119	Sunny Central 760CP	555	898	164	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	850	5
120	Sunny Central 720CP	585	808	165	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	850	6
121	Sunny Central 350	600	369	166	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	850	6
122	Sunny Central 630CP	602	713	167	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	850	7
123	Sunny Boy 2500 TL	625	2,65	168	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	850	7
124	Sunny Boy 3000TL	625	3,2	169	Sunny Tripower 8000TL	850	8,2
125	Sunny Boy 3600TL	625	3,88	170	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	850	8,2
126	Sunny Boy 4000TL	625	4,2	171	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	850	8,2
127	Sunny Boy 5000TL	625	5,25	172	Sunny Tripower 10000TL	850	10,2
128	Sunny Central 500CP	671	560	173	Sunny Tripower 12000TL	850	12,25
129	Sunny Boy 3600 Smart Energy	735	5,2	174	Sunny Tripower 15000TL	850	15,34
130	Sunny Boy 5000 Smart Energy	735	6,6	175	Sunny Tripower 17000TL	850	17,41
131	PIKO 4.2	770	4,62	176	Sunny Tripower 20000TL	850	20,44
132	PIKO 5.5	770	6,05	177	Sunny Tripower 25000TL	850	25,55
133	PIKO 7.0	770	7,7	178	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	850	25,55
134	PIKO 8.3	770	9,13				
135	PIKO 10.1	770	11				

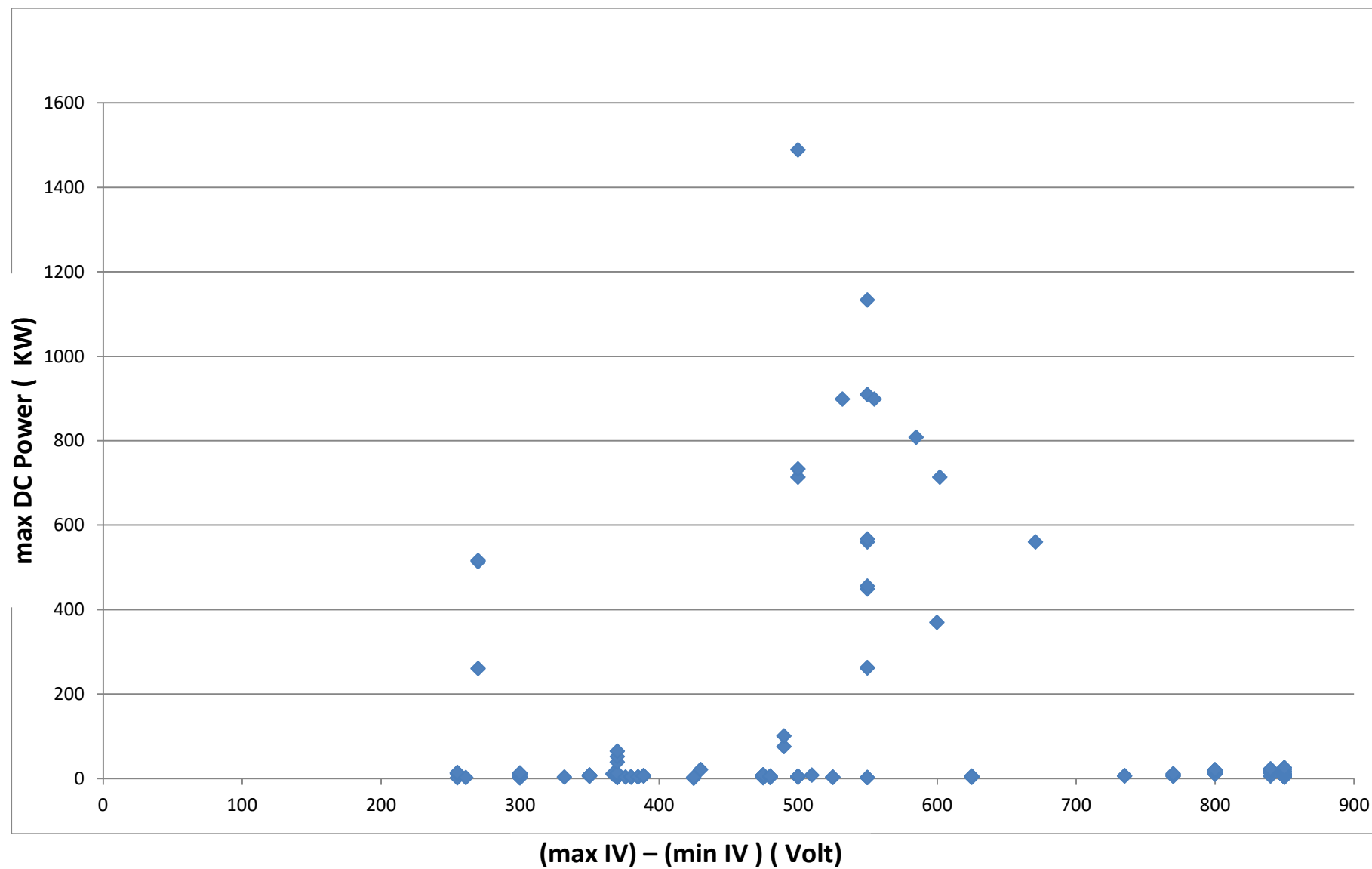
Το EXCEL δίνει τη μέση τιμή του εύρους των τάσεων ίση με
537,45506 Volt.

Σχετικά δε με το επόμενο διάγραμμα, ο συντελεστής προσδιορισμού προκύπτει
ίσος με

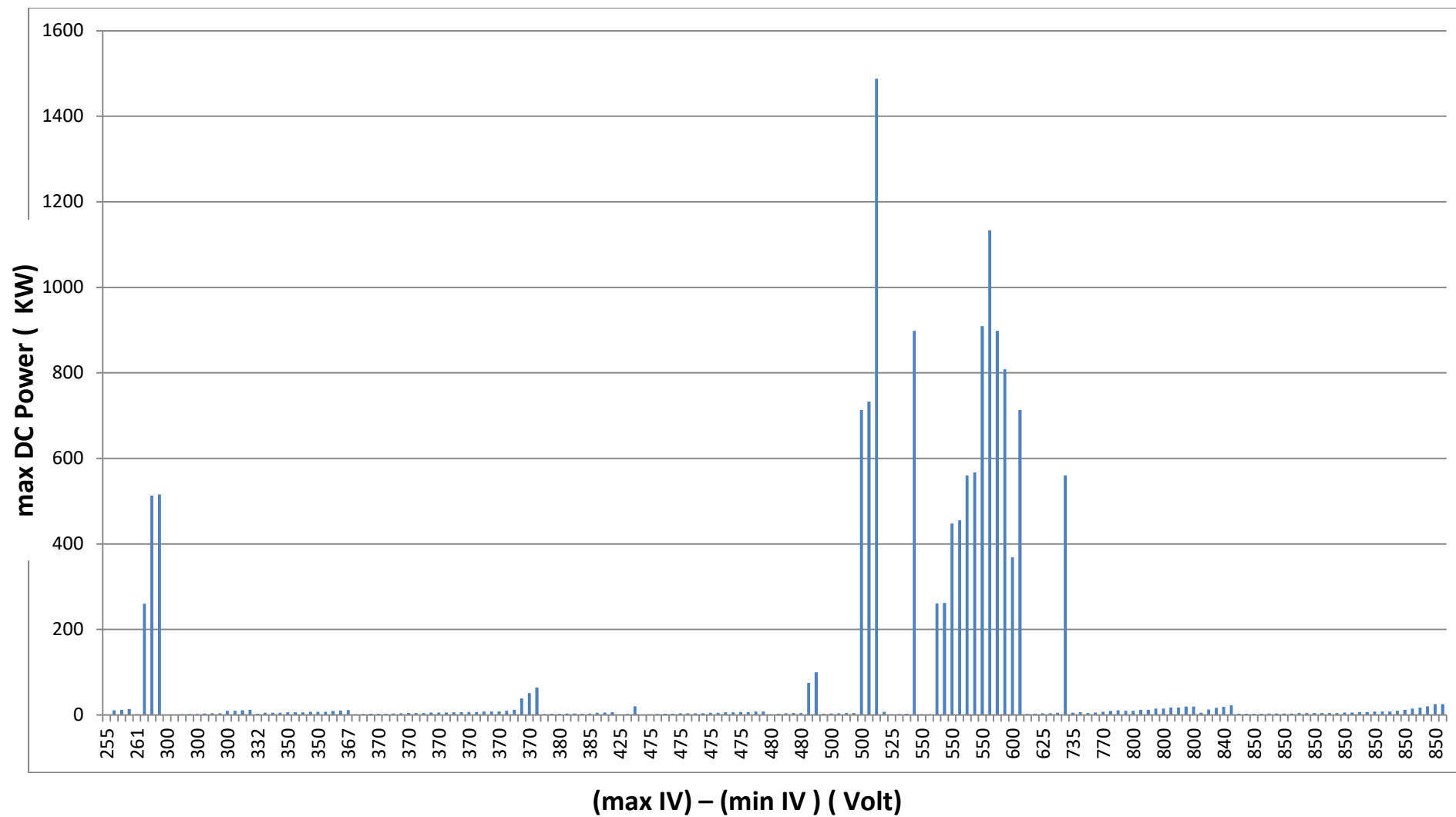
$$R^2 = 0,0004$$

και οι μεταβλητές είναι γραμμικά ασυσχέτιστες.

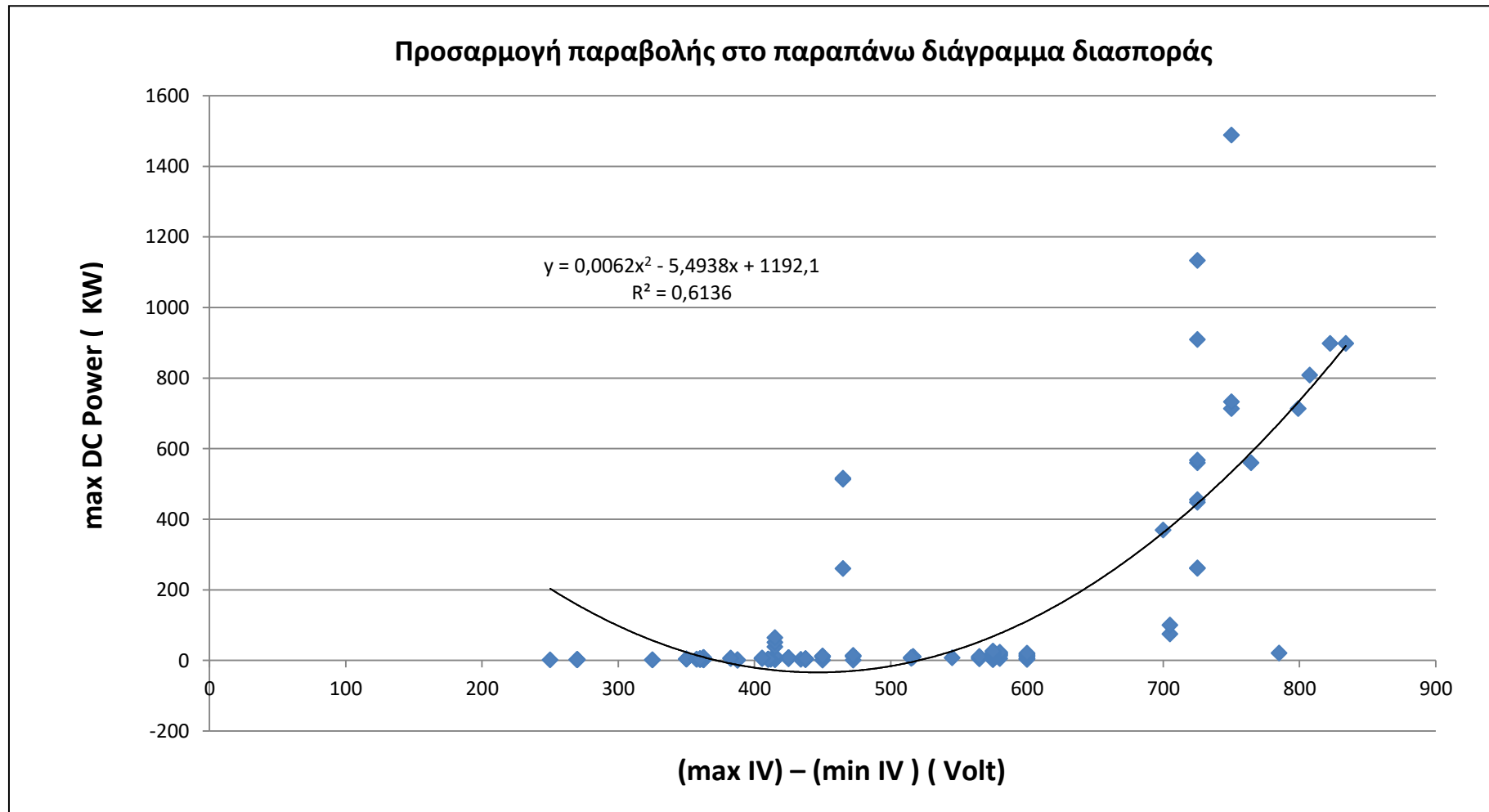
Διάγραμμα διασποράς για τις μεταβλητές X: (max input voltage) - (min input voltage), Y: maximum DC power



Οι μεταβλητές X: (max input voltage) - (min input voltage), Y: maximum DC power, Διάγραμμα «στήλη»



Είδαμε ότι οι μεταβλητές X: (max input voltage) - (min input voltage) και Y: maximum DC power είναι γραμμικώς ασυσχέτιστες, δηλ. είναι κακή η επιλογή μιας ευθείας για την «περιγραφή» του τρόπου με τον οποίο συνδέονται. Όμως αν επιλέξουμε να προσαρμόσουμε μια παραβολή στα δεδομένα, παίρνουμε συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0,6136 που είναι ικανοποιητικός σε σχέση με το $R^2 = 0,0004$ της σελ. 124. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η παραβολή που προσαρμόζεται στο διάγραμμα διασποράς της σελ. 125.



6.5 Οι μεταβλητές X: (max input voltage + min input voltage)/2, Y: maximum DC power

Πίνακας τιμών για το Γράφημα:	
X-άξονας: (max input voltage)+(min input voltage)/2,	Y-άξονας: max DC Power
$\underbrace{\hspace{10em}}$	$\underbrace{\hspace{10em}}$
maxIV	minIV
Οι εγγραφές που περιέχουν κενά κελιά έχουν παραλειφθεί.	

α/α	μοντέλο	(maxIV+minIV)/2	max DC power (KW)
1	Sunny Boy 8000TL-US 240V	472,5	1
2	Sunny Boy 9000TL-US 240V	472,5	11,25
3	Sunny Boy 10000TL-US 240V	472,5	12,5
4	Sunny Boy 11000TL-US 240V	472,5	13,75
5	Sunny Boy 1700	269,5	1,85
6	Sunny Central 250-US	465	260
7	Sunny Central 500HE-US	465	513
8	Sunny Central 500-US	465	516
9	Sunny Boy 8000TL-US 208V	450	1
10	Sunny Boy 1200	250	1,32
11	FRONIUS GALVO 1,5-1	270	1,6
12	FRONIUS GALVO 2,0-1	270	2,14
13	FRONIUS GALVO 2,5-1	270	2,65
14	Sunny Boy 3300	350	3,82
15	Sunny Boy 3800/V	350	3,9
16	Sunny Boy 3800	350	4,04
17	Sunny Boy 8000 - US 240V AC	450	10
18	Sunny Boy 8000 - US 277V AC	450	10
19	Sunny Boy 9000TL-US 208V	450	11,25
20	Sunny Boy 10000TL-US 208V	450	12,5
21	Sunny Boy 3000	434	3,2
22	Sunny Boy 5000 - US 208V AC	425	5,3
23	Sunny Boy 5000 - US 240V AC	425	5,3
24	Sunny Boy 5000 - US 277V AC	425	5,3
25	Sunny Boy 6000 - US 208V AC	425	6,35
26	Sunny Boy 6000 - US 240V AC	425	6,35
27	Sunny Boy 6000 - US 277V AC	425	6,35
28	Sunny Boy 7000 - US 208V AC	425	7,4
29	Sunny Boy 7000 - US 240V AC	425	7,4
30	Sunny Boy 7000 - US 277V AC	425	7,4
31	Sunny Mini Central 9000TL	516,5	9,3
32	Sunny Mini Central 10000TL	516,5	10,35
33	Sunny Mini Central 11000TL	516,5	11,4
34	POWER-ONE PVI 3.0-TL	415	2
35	FRONIUS IG PLUS 25 V-1	415	2,6
36	FRONIUS IG PLUS 30V-1	415	3
37	POWER-ONE PVI 3.6-TL	415	3
38	POWER-ONE PVI 4,2-TL	415	3
39	FRONIUS IG PLUS35V-1	415	3,5
40	FRONIUS IG PLUS50V-1	415	4
41	FRONIUS IG PLUS 55V-1	415	5
42	FRONIUS IG PLUS 55V-2	415	5
43	FRONIUS IG PLUS 55V-3	415	5
44	FRONIUS IG PLUS 60V-1	415	6
45	FRONIUS IG PLUS 60V-2	415	6

α/α	μοντέλο	(maxIV+minIV)/2	max DC power (KW)
46	FRONIUS IG PLUS 60V-3	415	6
47	Sunny Mini Central 6000TL	515	6,2
48	FRONIUS IG PLUS 70V-2	415	6,5
49	FRONIUS IG PLUS 80V-3	415	7
50	Sunny Mini Central 7000TL	515	7,2
51	FRONIUS IG PLUS 100V-2	415	8
52	FRONIUS IG PLUS 100V-3	415	8
53	Sunny Mini Central 8000TL	515	8,25
54	FRONIUS IG PLUS 120V-3	415	10
55	FRONIUS IG PLUS 150V-3	415	12
56	FRONIUS CL36,0	415	38,6
57	FRONIUS CL48,0	415	51,4
58	FRONIUS CL60,0	415	64,4
59	Sunny Boy 2500	412	2,7
60	Sunny Boy 2500HF-US 208V AC	410	2,75
61	Sunny Boy 2500HF-US 240V AC	410	2,75
62	Sunny Boy 3000HF-US 208V AC	410	3,3
63	Sunny Boy 3000HF-US 240V AC	410	3,3
64	FRONIUS GALVO 3.0-1	357,5	3,16
65	FRONIUS GALVO 3,1-1	357,5	3,31
66	Sunny Mini Central 4600A	405,5	5,25
67	Sunny Mini Central 5000A	405,5	5,75
68	Sunny Mini Central 6000A	405,5	6,3
69	Sunny Boy 2000HF-US 240V AC	387,5	0,2
70	Sunny Boy 2000HF-US 208V AC	387,5	2,2
71	Sunny Tripower 20000TLEE-JP	785	20,45
72	Sunny Boy 1300 TL	362,5	1,4
73	Sunny Boy 1600 TL	362,5	1,7
74	Sunny Boy 2100 TL	362,5	2,2
75	Sunny Boy 3000TL-US 208 V	362,5	3,2
76	Sunny Boy 3000TL-US 240V	362,5	3,2
77	Sunny Boy 3800TL-US 208V	362,5	4,2
78	Sunny Boy 3800TL-US 240V	362,5	4,2
79	Sunny Boy 4000TL-US 208V	362,5	4,2
80	Sunny Boy 4000TL-US 240V	362,5	4,2
81	Sunny Boy 5000TL-US 208V	362,5	5,3
82	Sunny Boy 5000TL-US 240V	362,5	5,3
83	Sunny Boy 6000TL-US 208V	362,5	6,3
84	Sunny Boy 6000TL-US 240V	362,5	6,3
85	Sunny Boy 7000TL-US 208V	362,5	7,3
86	Sunny Boy 7000TL-US 240V	362,5	7,3
87	Sunny Boy 7700TL-US 208V	475	8
88	Sunny Boy 7700TL-US 240V	475	8
89	SOLARMAX 2000	480	2
90	SOLARMAX 3000	480	3

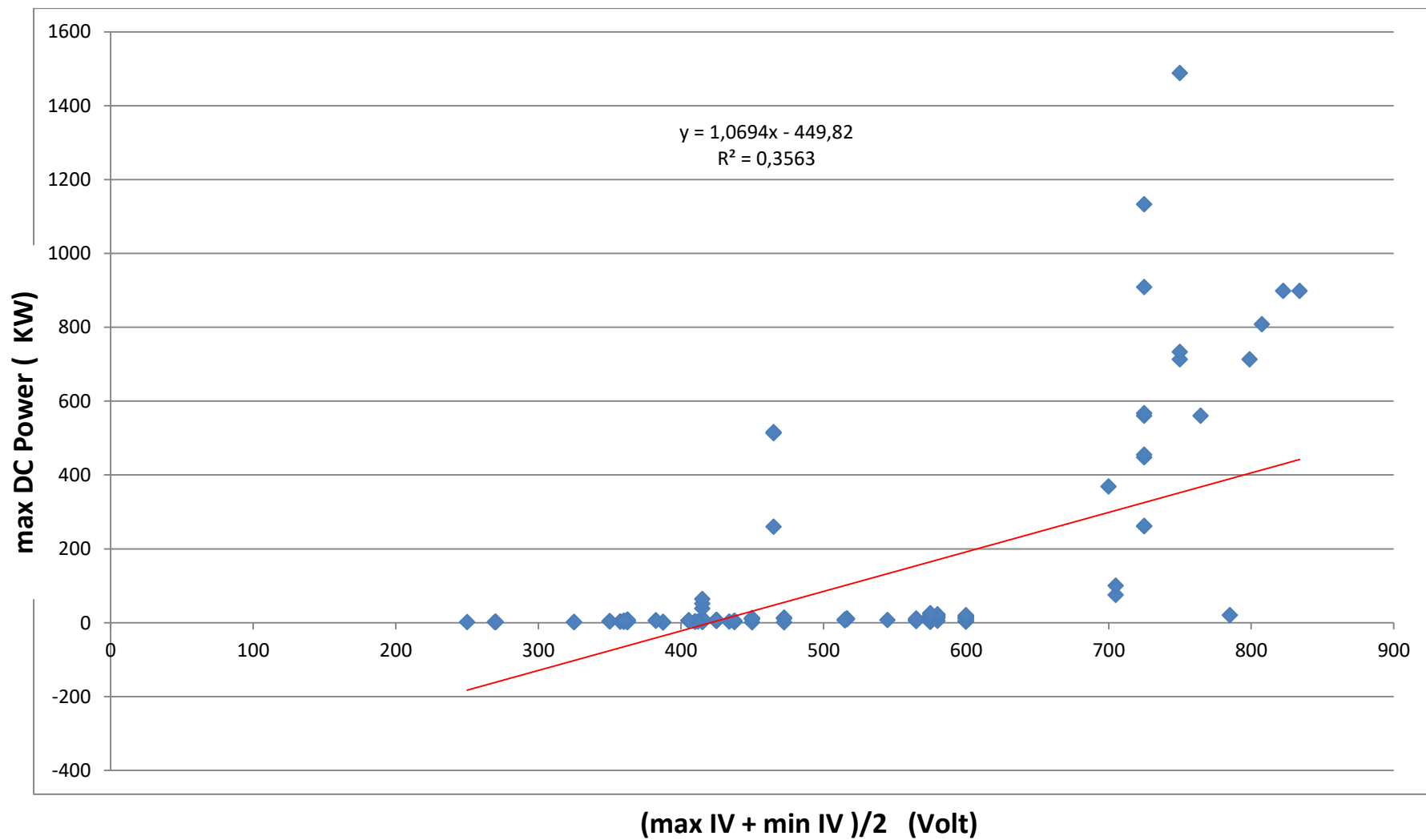
α/α	μοντέλο	(maxIV+minIV)/2	max DC power (KW)	α/α	μοντέλο	(maxIV+minIV)/2	max DC power (KW)
91	SOLARMAX 4000	360	4	136	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	600	10
92	SOLARMAX 4600	360	4,6	137	FRONIUS SYMO 10,0-3-M	600	10
93	SOLARMAX 5000	360	5	138	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	600	12,5
94	FRONIUS AGILO 75,0-3	705	75	139	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	600	12,5
95	FRONIUS AGILO 100,0-3	705	100	140	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	600	15
96	FRONIUS IG TL 3,	600	3	141	FRONIUS SYMO 15,0-3-M	600	15
97	FRONIUS IG TL 3,6	600	3,68	142	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	600	17,5
98	FRONIUS IG TL 4,0	600	4	143	FRONIUS SYMO 17,5-3-M	600	17,5
99	FRONIUS IG TL 4,6	600	4,6	144	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	600	20
100	FRONIUS IG TL 5,0	600	5	145	FRONIUS SYMO 20,0-3-M	600	20
101	Sunny Central 630HE	750	713	146	PIKO 4.6	580	5,1
102	Sunny Central 630MV	750	733	147	PIKO 12	580	12,9
103	Sunny Central 1250MV	750	1488	148	PIKO 15	580	16,9
104	Sunny Mini Central 7000HV	545	7,5	149	PIKO 17	580	19,2
105	Sunny Boy 2000HF	437,5	2,1	150	PIKO 20	580	22,6
106	Sunny Boy 2500HF	437,5	2,6	151	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	575	3
107	Sunny Boy 3000HF	437,5	3,15	152	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	575	3
108	Sunny Central 800CP	834	898	153	FRONIUS SYMO 3,0-3-S	575	3
109	Sunny Boy 1.5	325	1,6	154	FRONIUS SYMO 3,0-3-M	575	3
110	Sunny Boy 2.5	325	1,6	155	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	575	3,7
111	Sunny Central 250HE	725	261	156	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	575	3,7
112	Sunny Central 250	725	262	157	FRONIUS SYMO 3,7-3-S	575	3,7
113	Sunny Central 400HE	725	448	158	FRONIUS SYMO 3,7-3-M	575	3,7
114	Sunny Central 400MV	725	455	159	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	575	4,5
115	Sunny Central 500HE	725	560	160	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	575	4,5
116	Sunny Central 500MV	725	567	161	FRONIUS SYMO 4,5-3-S	575	4,5
117	Sunny Central 800MV	725	909	162	FRONIUS SYMO 4,5-3-M	575	4,5
118	Sunny Central 1000MV	725	1133	163	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	575	5
119	Sunny Central 760CP	822,5	898	164	FRONIUS SYMO 5,0-3-M	575	5
120	Sunny Central 720CP	807,5	808	165	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	575	6
121	Sunny Central 350	700	369	166	FRONIUS SYMO 6,0-3-M	575	6
122	Sunny Central 630CP	799	713	167	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	575	7
123	Sunny Boy 2500 TL	437,5	2,65	168	FRONIUS SYMO 7,0-3-M	575	7
124	Sunny Boy 3000TL	437,5	3,2	169	Sunny Tripower 8000TL	575	8,2
125	Sunny Boy 3600TL	437,5	3,88	170	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	575	8,2
126	Sunny Boy 4000TL	437,5	4,2	171	FRONIUS SYMO 8,2-3-M	575	8,2
127	Sunny Boy 5000TL	437,5	5,25	172	Sunny Tripower 10000TL	575	10,2
128	Sunny Central 500CP	764,5	560	173	Sunny Tripower 12000TL	575	12,25
129	Sunny Boy 3600 Smart Energy	382,5	5,2	174	Sunny Tripower 15000TL	575	15,34
130	Sunny Boy 5000 Smart Energy	382,5	6,6	175	Sunny Tripower 17000TL	575	17,41
131	PIKO 4.2	565	4,62	176	Sunny Tripower 20000TL	575	20,44
132	PIKO 5.5	565	6,05	177	Sunny Tripower 25000TL	575	25,55
133	PIKO 7.0	565	7,7	178	Sunny Tripower 25000TLEE-JP	575	25,55
134	PIKO 8.3	565	9,13				
135	PIKO 10.1	565	11				

Σχετικά δε με το επόμενο διάγραμμα, ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης προκύπτει ίσος με

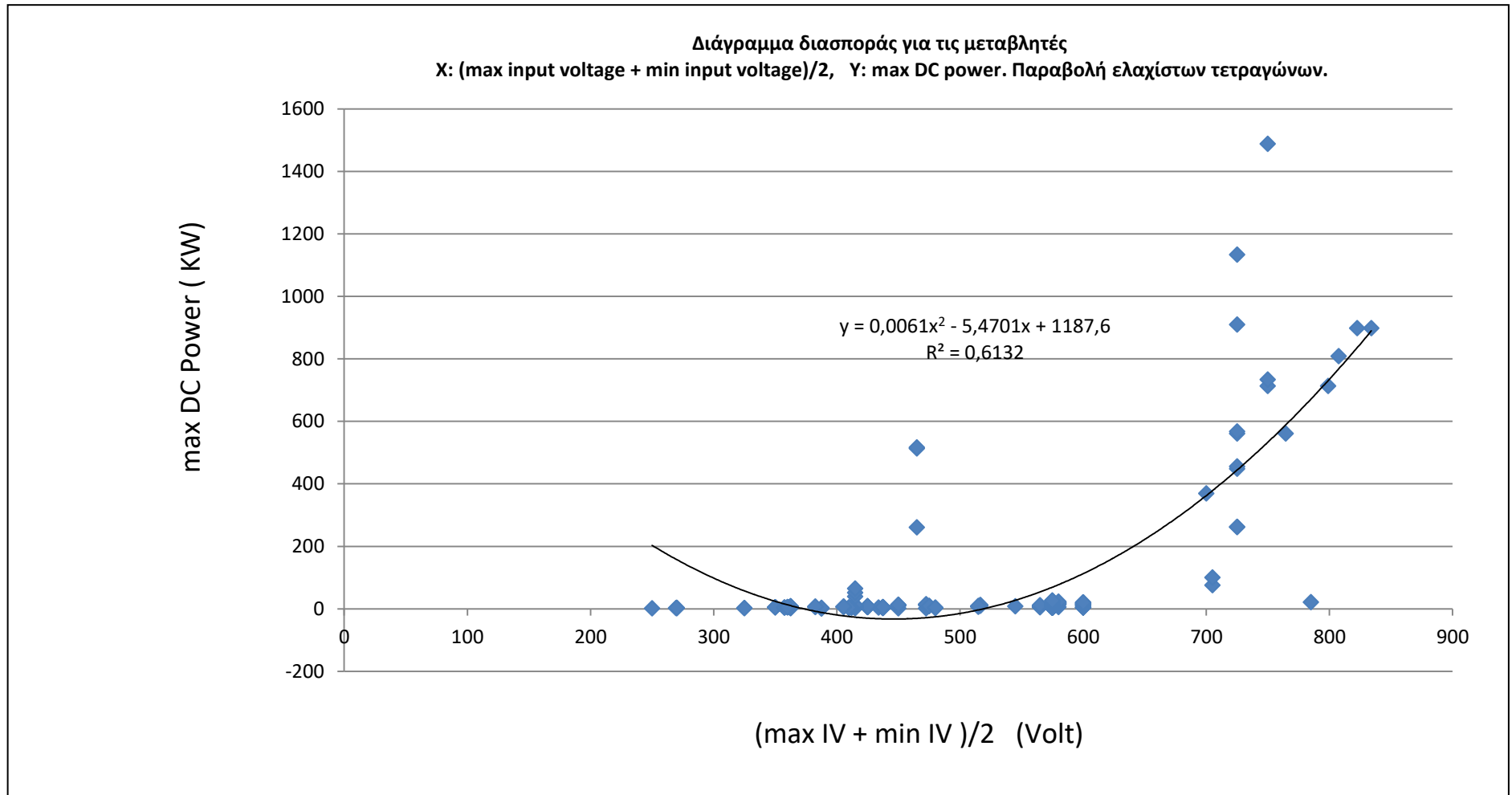
$$R = 0,597$$

και η συσχέτιση χαρακτηρίζεται ως μέτρια.

Διάγραμμα διασποράς για τις μεταβλητές X: $(\max \text{ input voltage} + \min \text{ input voltage})/2$, Y: maximum DC power



Συμπληρωματικά, στο επόμενο γράφημα απεικονίζεται η προσαρμογή μιας παραβολής στο προηγούμενο διάγραμμα διασποράς.



ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ., Στεργιόπουλος Φ., *Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη 2011.

Φραγκιαδάκης Ι., *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη, 2009.

Dunlop J., *Study Guide for PV System Installers and Sample Examination Questions*, Florida Solar Energy Center, 2003.

Wirth H. (Compiler), *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*, Fraunhofer ISE, 2016.

Glossary of Commonly Used Terms for Solar Energy, at http://www.pennfuture.org/sunshot/SunSHOT_resource_glossary.pdf

Photovoltaics Glossary of Terms, available at http://www.montana.edu/tjkaiser/ee580/homework/UNSW_glossary.pdf

Photovoltaics in the Classroom Workshop, U.S. National Renewable Energy Laboratory, 1999.

Blattner P., *Οι Συναρτήσεις του EXCEL στην Πράξη*, Κλειδάριθμος, 2000.

Ζιούτας Γ., *Πιθανότητες και Στατιστική για Μηχανικούς*, Εκδ. Σοφία 2016.

www.powerselectronics.com

www.wikipedia.com