

University Of Patras, Greece
Department of Electrical and Computer
Engineering



4^η Εβδομάδα Ενέργειας IENE
15^ο Εθνικό Συνέδριο Ενέργειας, “Ενέργεια & Ανάπτυξη 2010”
22-23 Νοεμβρίου 2010, Αθήνα

**Συμβολή των νέων τεχνικών ελέγχου των
αιολικών συστημάτων στη βελτίωση της
εκμετάλλευσης και της ποιότητας της ισχύος**

Μ. Κ. Μπουρδούλης, Γ. Κ. Κωνσταντόπουλος, Α. Θ. Αλεξανδρίδης

Παρουσίαση: Μιχαήλ Κ. Μπουρδούλης



Η αιολική ενέργεια σαν ανανεώσιμη πηγή



Η ενέργεια του ανέμου ήταν από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκε σαν εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών.

Στη σύγχρονη μορφή των ανεμογεννητριών οι πρώτες σημαντικές εφαρμογές εμφανίστηκαν το 1980 με ισχύ 100kW, ενώ σήμερα η ισχύς έχει φτάσει τα 5MW.



Ισχύς του ανέμου

Για ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα:

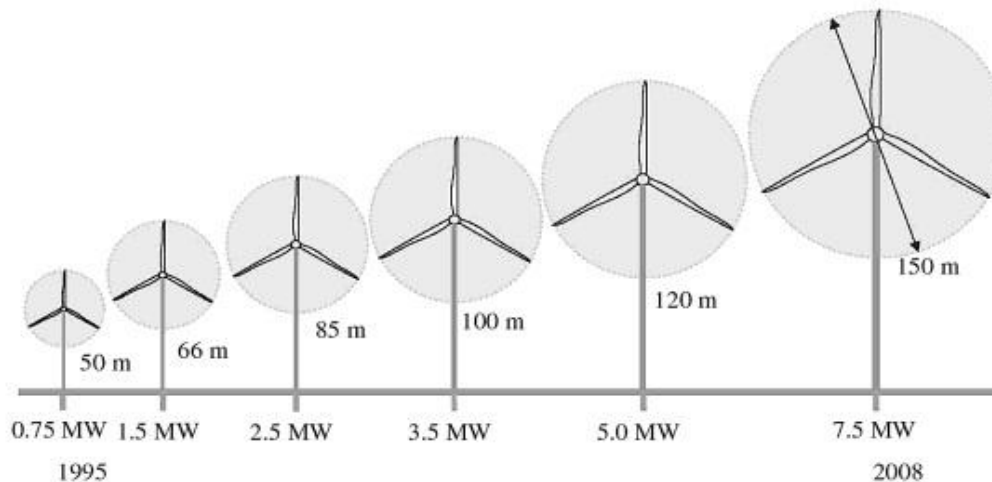
$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$C_p = \frac{P_{wind\ turbine}}{P_{air}}$$

$$P_{wind\ turbine} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$$



Horizontal axis



Evolution of wind turbine dimensions



Απόδοση αιολικού συστήματος

Σημαντικός ο ρόλος του συντελεστή ισχύος

$$C_p = C_p(\lambda, \beta)$$

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{v} \quad \text{λόγος ακροπτερυγίου}$$

θεωρητικά $C_p^{\max} = 59,3\%$ όριο του Betz

πρακτικά $25\% \leq C_p^{\max} \leq 45\%$

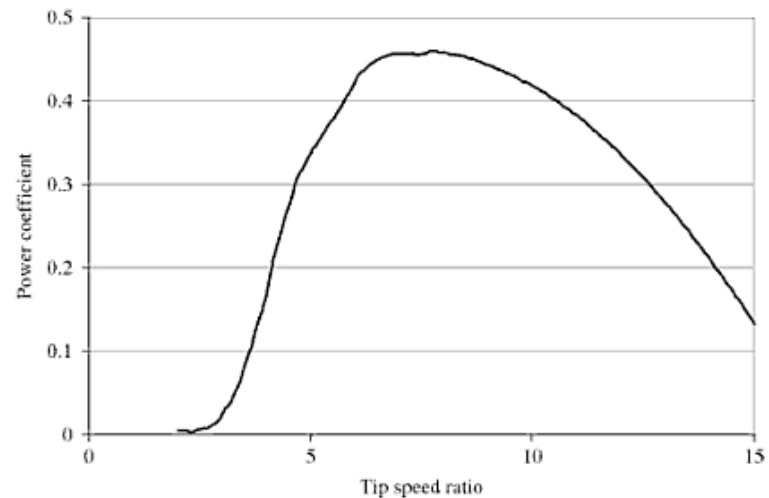


Illustration of power coefficient/tip-speed ratio curve, C_p/λ .

Έχει αποδειχθεί ότι το C_p γίνεται μέγιστο για κάποια σταθερή τιμή του λ , συνήθως $\lambda_{opt}=6.325$.



Απόδοση αιολικού συστήματος

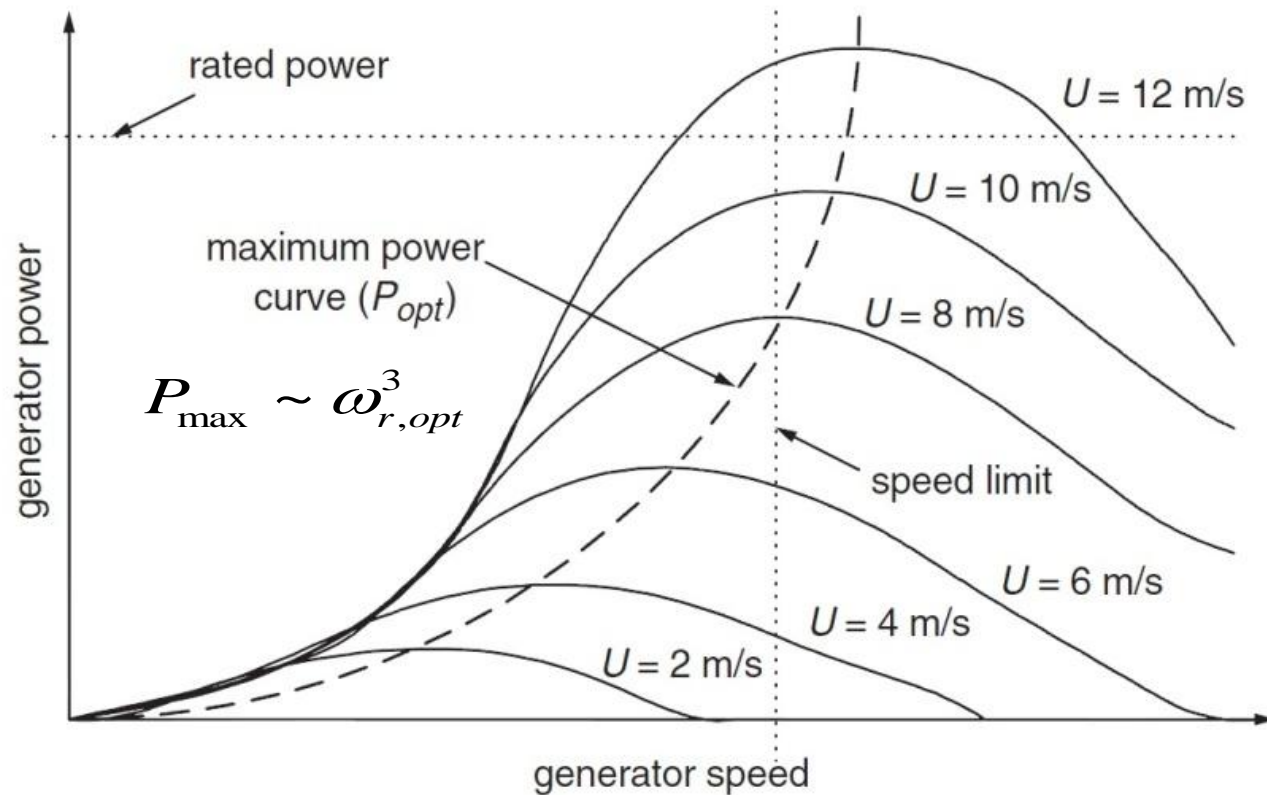
Επομένως, $\omega_{r,opt} = \lambda_{opt} \frac{v}{R}$

Ομοίως έχουμε $P_{wind turbine} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$

Άρα $P_{wind turbine}^{max} = \frac{1}{2} \pi \rho \frac{C_{p,opt}}{\lambda_{opt}^3} R^5 \omega_{r,opt}^3$



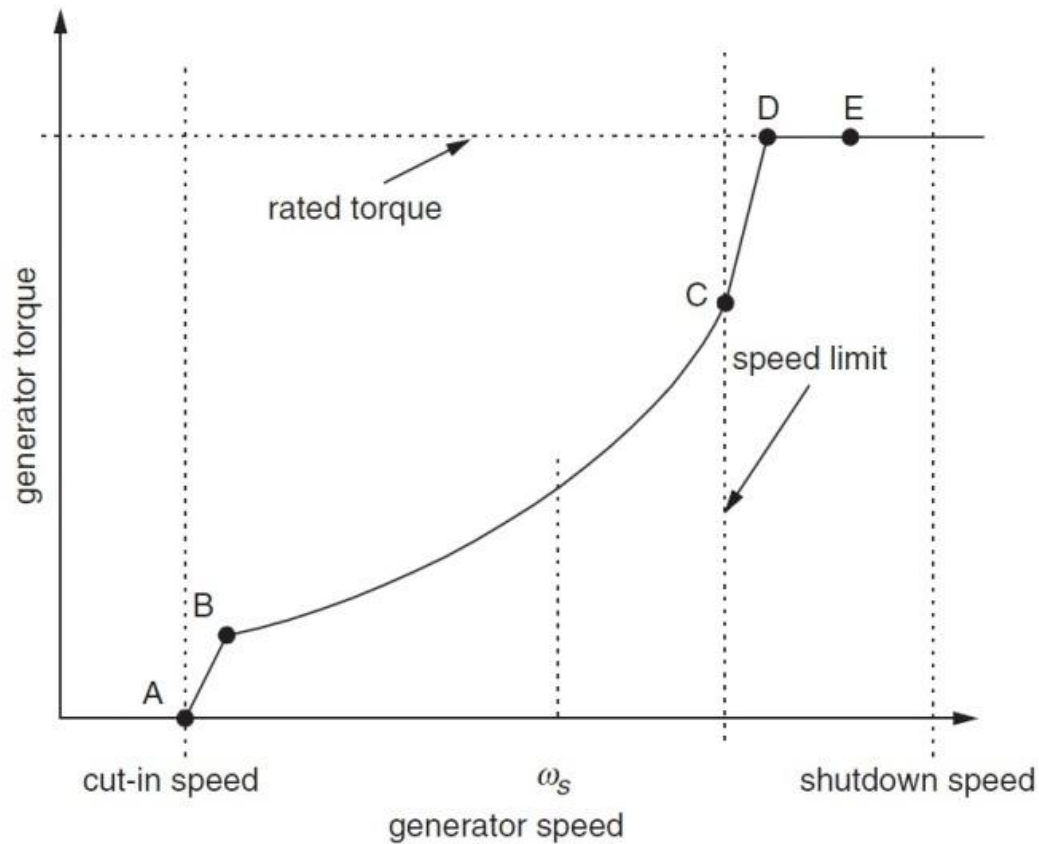
Μεταβλητή ταχύτητα vs Σταθερή ταχύτητα δρομέα



Maximum power extraction control strategy curve



Στόχος του ελέγχου μεταβλητών στροφών για μέγιστη απομάστευση ισχύος



Torque-speed characteristic for turbine control strategy



Στόχος του ελέγχου μεταβλητών στροφών στην ποιότητα ισχύος

A. Άεργος ισχύς

Η επαγωγική μηχανή βραχυκυκλωμένου κλωβού (σταθερών στροφών) καταναλώνει πάντοτε άεργο ισχύ, είτε σαν κινητήρας είτε σαν γεννήτρια.

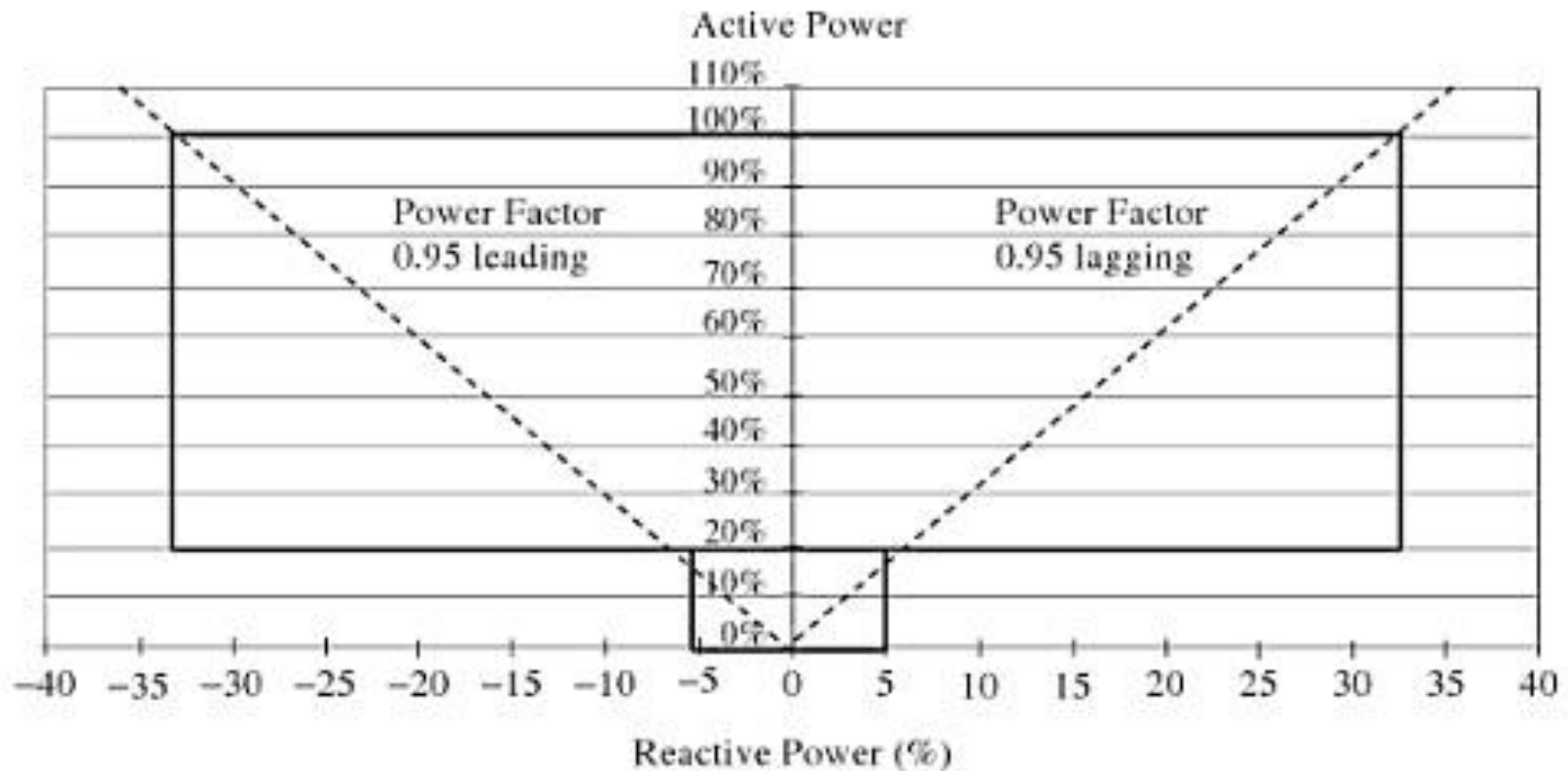
(το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι αντιστάθμιση με πυκνωτές)

Απαιτήσεις ελέγχου μεταβλητών στροφών:

- Λειτουργία με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος
- Ρύθμιση σε κάθε περίπτωση της άεργου ισχύος σύμφωνα με τον κανονισμό

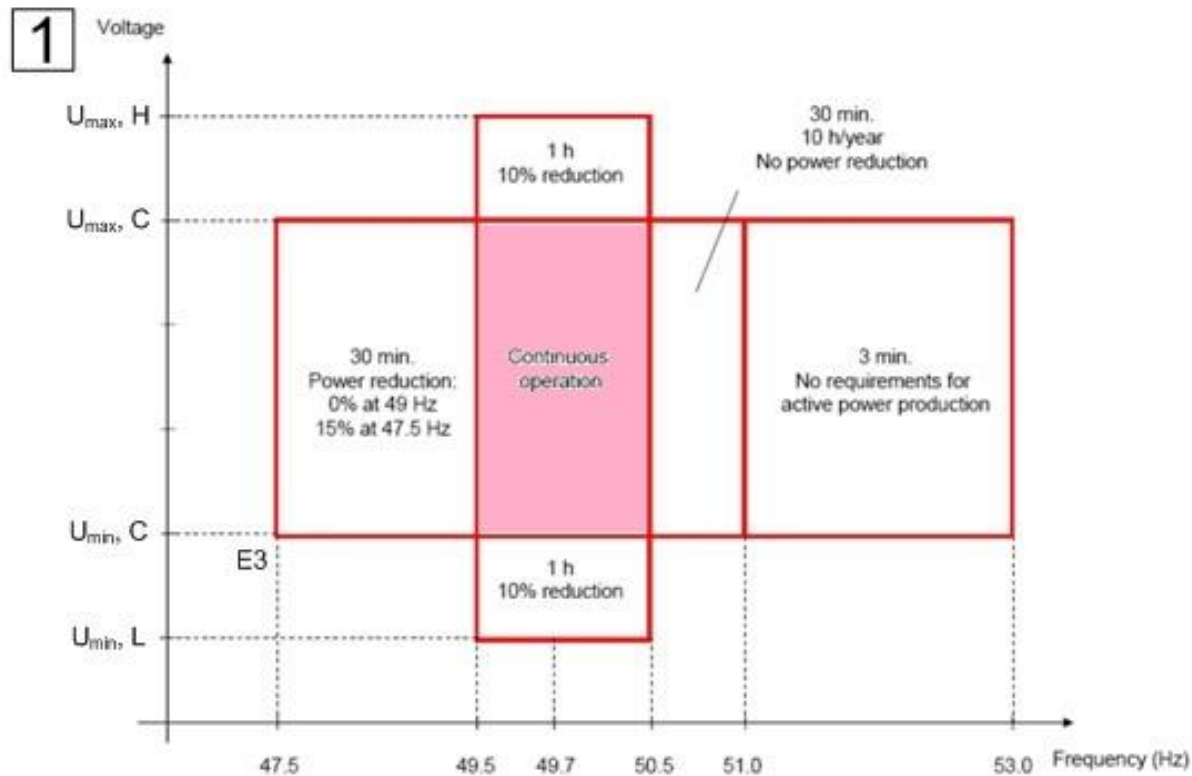


Απαιτήσεις αέργου ισχύος





Β. Απαιτήσεις σε διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης



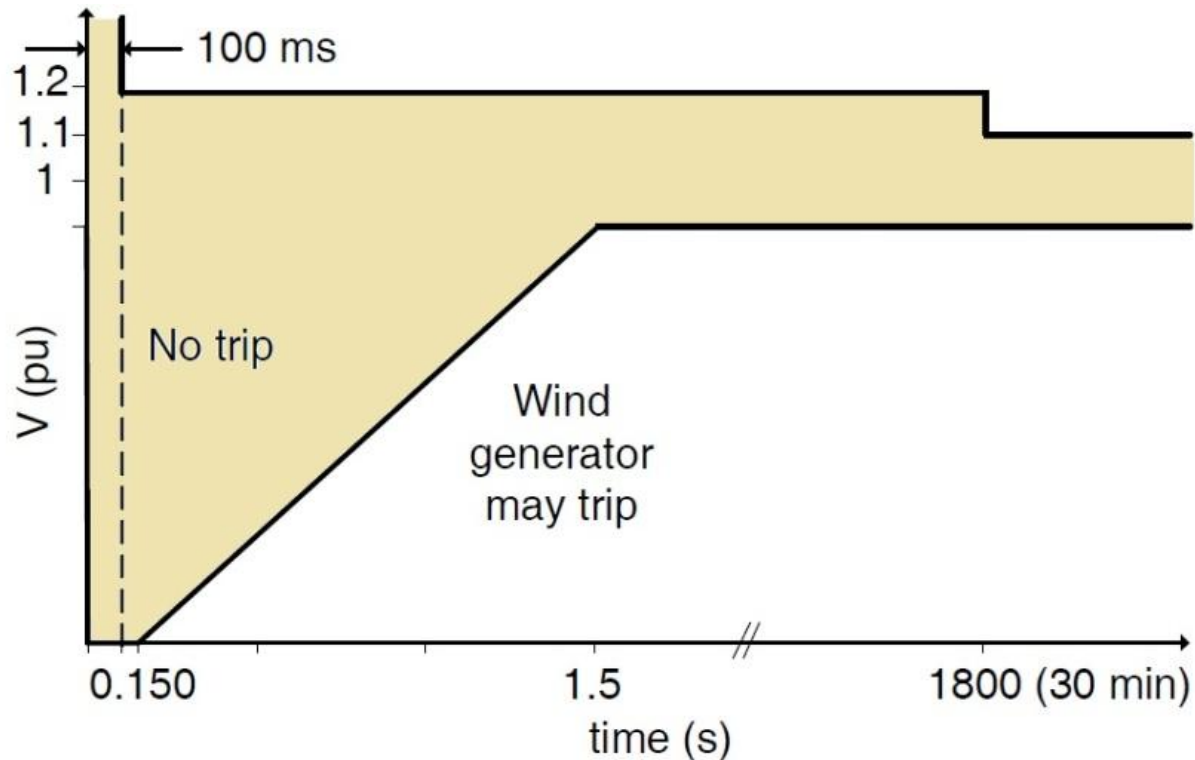


Απαιτήσεις ελέγχου μεταβλητών στροφών:

- Μείωση των διακυμάνσεων στη συχνότητα σύμφωνα με τον κανονισμό, με αντίστοιχη απόκλιση από την μέγιστη απομάστευση ισχύος
(στην περίπτωση των σταθερών στροφών δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας)



Γ. Απαιτήσεις αδιάλειπτης λειτουργίας υπό μειωμένη τάση



Typical low voltage ride through requirement - Europe



- Παραδοσιακά οι ανεμογεννήτριες οδηγούνται σε αποσύνδεση όταν η τάση στα άκρα τους μειωθεί κάτω από κάποιο επίπεδο.
- Λόγω της αυξημένης διείσδυσης της παραγωγής από ανεμογεννήτριες, οι κανονισμοί προσαρμόστηκαν ώστε να δίνουν τη δυνατότητα της διατήρησης της σύνδεσης και της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας υπό μειωμένη τάση για πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Απαιτήσεις ελέγχου μεταβλητών στροφών:

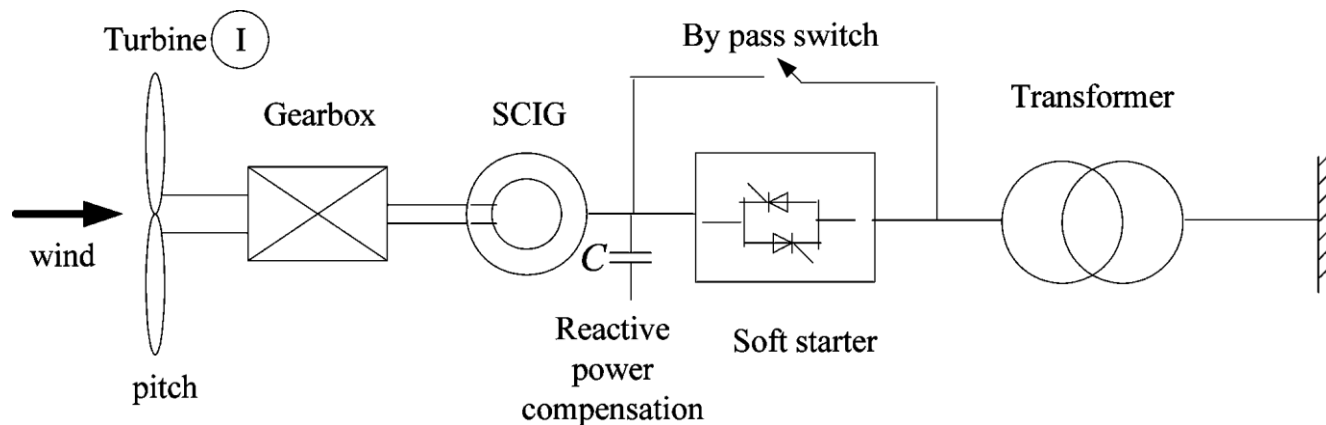
- Αδιάλειπτη λειτουργία και στήριξη της τάσης του δικτύου τοπικά μέσω της έγχυσης αέργου ισχύος στο δίκτυο.



- Στην περίπτωση των σταθερών στροφών, επειδή η γεννήτρια λειτουργεί υπό σταθερή ισχύ, κατά τη διάρκεια της μείωσης της τάσης, μπορεί να οδηγηθεί σε υπερεπιτάχυνση και ακολούθως απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοτήτων αέργου ισχύος που οδηγούν σε περαιτέρω μείωση της τάσης και κατάρρευση του συστήματος.



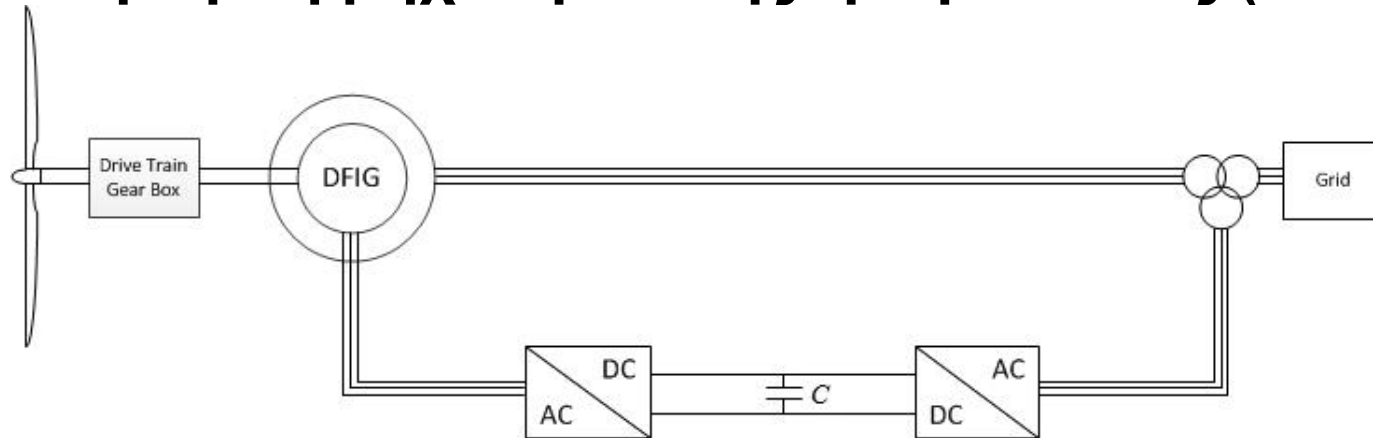
Επαγωγική ανεμογεννήτρια απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο (SCIG)



- Απλή στην κατασκευή
- Φθηνή συντήρηση
- Εως 1% μεταβολή της ταχύτητας του δρομέα
- Οι διακυμάνσεις του ανέμου μεταφέρονται στην ισχύ εξόδου
- Απαιτεί άεργο ισχύ από το δίκτυο
- Συχνά χρήση πυκνωτών τοπικά για αντιστάθμιση αέργου ισχύος



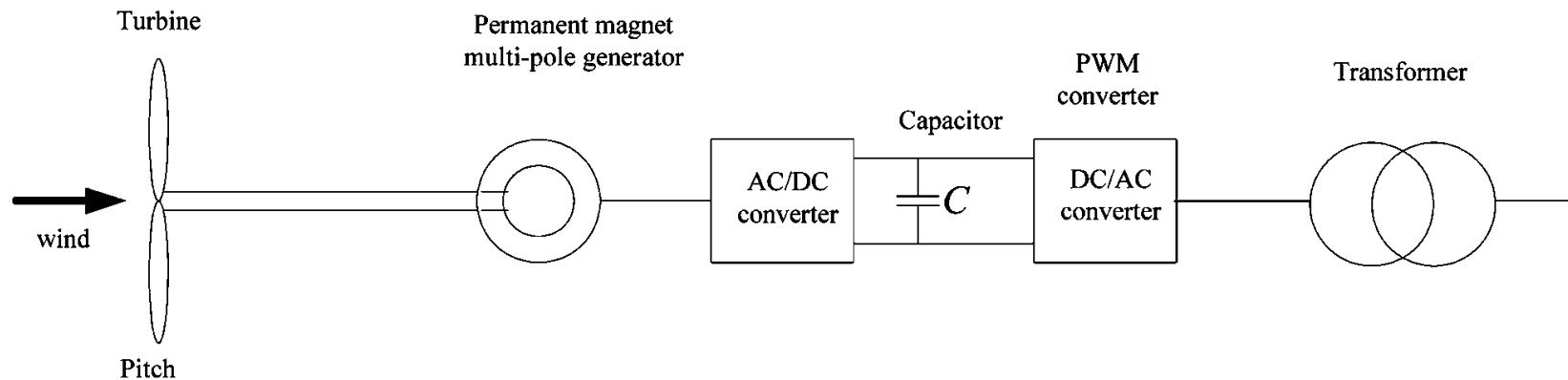
Επαγωγική μηχανή διπλής τροφοδοσίας (DFIG)



- Διάταξη μετατροπής συχνότητας που διαχειρίζεται μέρος της παραγόμενης ισχύος
- Μικρό κόστος διάταξης ηλεκτρονικών ισχύος
- Δυνατότητα λειτουργίας με ολίσθηση εως και 30% από την σύγχρονη ταχύτητα
- ~70% της εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών είναι αυτού του τύπου
- Δυνατότητα λειτουργίας με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος



Άλλα σχήματα γεννητριών μεταβλητών στροφών Σύγχρονη ανεμογεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (full rated PMSG)



- Αυτοδιεγερόμενη
- Υψηλότερης απόδοσης από επαγωγική μηχανή
- Δεν απαιτεί τη χρήση κιβωτίου ταχυτήτων (πολλοί πόλοι)
- Αυξημένο κόστος ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος
- Τα μαγνητικά τμήματα ευαίσθητα στις μεταβολές των συνθηκών
- Προβλήματα στην εκκίνηση και στο συγχρονισμό



Συνοπτική περιγραφή του ελέγχου

Στον μετατροπέα από την πλευρά του δρομέα της ανεμογεννήτριας γίνεται έλεγχος της ενεργού και της αέργου ισχύος του στάση.

Στον μετατροπέα από την πλευρά του δικτύου γίνεται ρύθμιση της τάσης της διασύνδεσης συνεχούς ρεύματος, ώστε να έχουμε αποσυζευγμένη λειτουργία από τον μετατροπέα της πλευράς του δρομέα, και περαιτέρω ρύθμιση της αέργου ισχύος.

Μειονεκτήματα αυτού του ελέγχου:

- Οφείλονται στις μη γραμμικότητες του συστήματος.
- Εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές (διανυσματικός έλεγχος).
- Απαιτεί εκτίμηση κάποιων μεγεθών (π.χ. ροή) λόγω της δυσκολίας μέτρησης τους.
- Έχει αυξημένη πολυπλοκότητα.



Τι κάνουμε εμείς

Προσπαθούμε να εξαλείψουμε κατά το δυνατόν τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η προσπάθεια είναι για:

- πιο αποδοτικά,
- πιο απλουστευμένα,
- πιο αξιόπιστα,

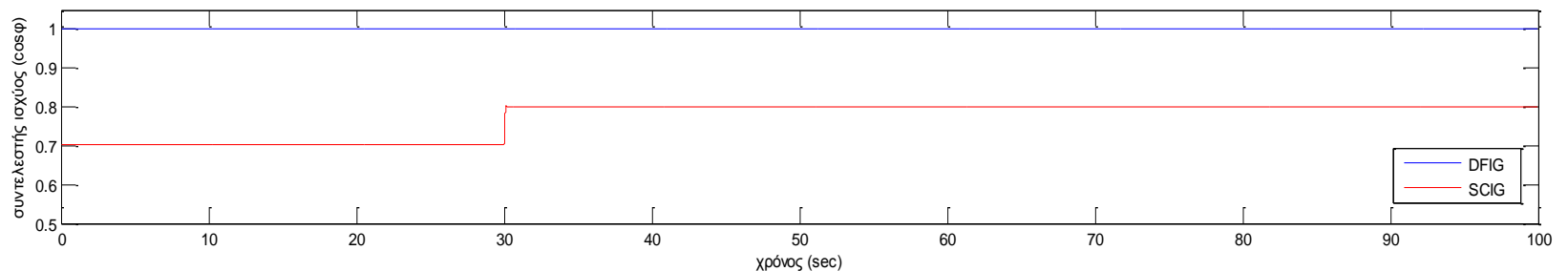
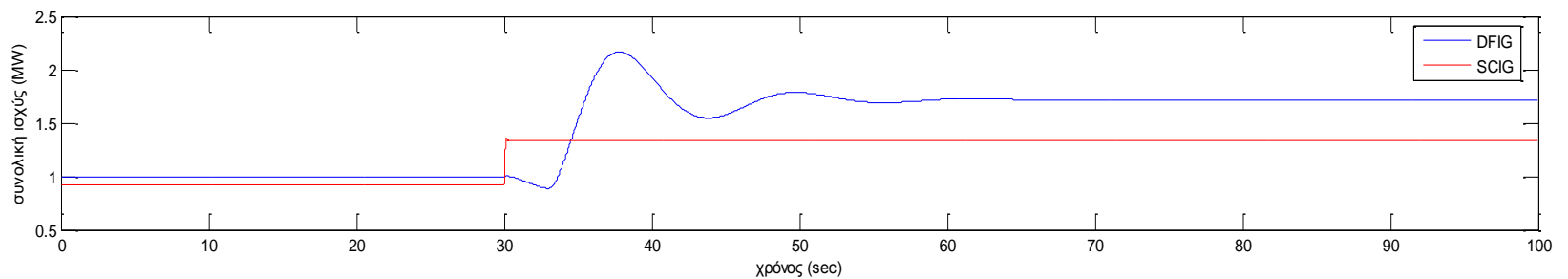
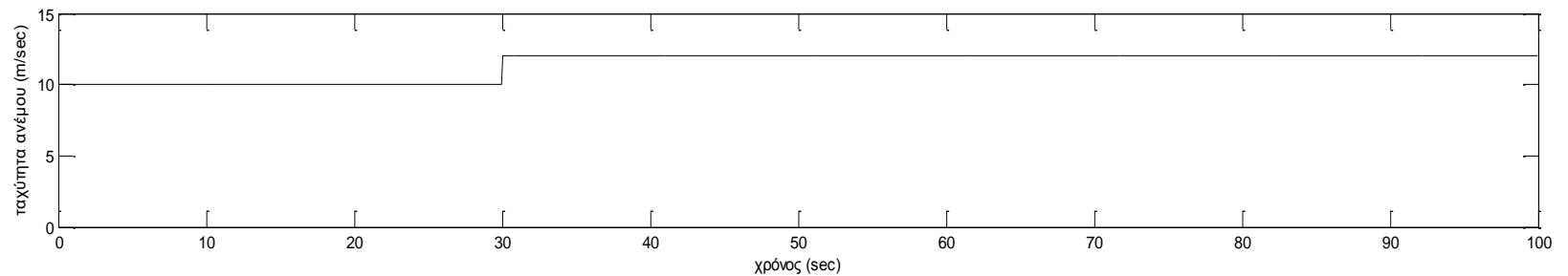
ως προς το υλικό και το λογισμικό συστήματα ελέγχου.

Βασιζόμαστε στη θεωρία του μη γραμμικού ελέγχου και Lyapunov τεχνικών ανάλυσης και προτείνουμε βελτιωμένες τεχνικές με αυξημένες δυνατότητες.

Στη συνέχεια παραθέτουμε κάποιο σενάριο λειτουργίας, όπου αποδεικνύεται η καλή λειτουργία του προτεινόμενου ελέγχου.



Ενδεικτικό σενάριο λειτουργίας





Συμπεράσματα

Το σημερινό state of the art στην τεχνολογία ελέγχου μεταβλητών στροφών επιτρέπει:

- Τη μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού για ευρύ φάσμα ταχυτήτων του ανέμου.
- Τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ισχύος που εγχύεται στο δίκτυο και η οποία έχει να κάνει με αυξημένες δυνατότητες:
 1. ρύθμισης της αέργου ισχύος
 2. διατήρησης του επιπέδου τάσεων μετά από μεγάλες διαταραχές και αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος
 3. ελέγχου της συχνότητας.

Ταυτόχρονα η οικονομική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη από τα οφέλη, οικονομικά και ποιοτικά. Γι αυτό η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται πλέον αποκλειστικά σε όλα τα σύγχρονα αιολικά συστήματα.



*Ευχαριστώ για την
προσοχή σας*
