

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος: Μελέτη και έλεγχος συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αποθήκευση και χρήση υδρογόνου για οικιακές εφαρμογές.

Σπουδαστές: Θεοδωρίδης Σωτήριος
Κρυσταλλίδης Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Φώτης Στεργιόπουλος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΣΤΟΧΟΣ ΘΕΜΑΤΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	8
1.1 ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	10
2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	10
2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ.....	12
2.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	13
2.4 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	15
2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΥΔΡΟΓΟΝΟ	18
3.1 ΥΔΡΟΓΟΝΟ.....	18
3.2 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	20
4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	20
4.2 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	20
4.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	21
4.4 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	24
4.5 ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΚΥΨΕΛΗΣ.....	26
4.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	27
4.7 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ.....	27
4.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	29
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ MATLAB 6.1.....	29
5.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ.....	30
5.3 ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	33
5.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	35
6.1 WIND TURBINE.....	35
6.2 ELECTROLYZER.....	38
6.3 HYDROGEN STORAGE.....	40
6.4 FUEL CELL.....	41
6.5 CONVERTER AC/DC.....	44
6.6 CONVERTER DC/AC.....	45
6.7 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	46
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	49
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	57
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

Στη μνήμη του πατέρα μου
Θεοδωρίδης Σωτήριος

Στους γονείς μου
Κρυσταλλίδης Δημήτριος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Δεν ξέρουμε πραγματικά, αν η πτυχιακή εργασία παρουσιάζει την τελική εικόνα της αντίληψης ενός σπουδαστή, είναι σίγουρα όμως μια από τις λίγες ευκαιρίες που του δίνονται για να ασχοληθεί, με την ευρεία έννοια, με κάποιο θέμα, το οποίο δεν του προσφέρεται σαν δεδομένο.

Ξεκινήσαμε αυτή τη μελέτη σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τον ρόλο που διαδραματίζουν στην καθημερινότητά μας. Στην πορεία όμως διαπιστώσαμε ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γενικότερα και κυρίως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χρήση υδρογόνου, παρουσιάζουν ένα σύνθετο ενδιαφέρον.

Κατά την προετοιμασία όμως της παραπάνω μελέτης, η περιορισμένη βιβλιογραφία, ιδιαίτερα πηγών στην ελληνική γλώσσα και η κατά συνέπεια ανάγκη προσωπικών επαφών, έκαναν πιο χρονοβόρα και επίπονη την διεκπεραίωση της εργασίας.

Σκοπός της εργασίας αυτής, ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση κυψελών καυσίμου.

Θεωρούμε καθήκον μας λοιπόν να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας προς τον καθηγητή μας κ. Στεργιόπουλο Φώτη για το έναυσμα που μας έδωσε να ασχοληθούμε με αυτήν την πτυχιακή εργασία, καθώς και για την επιστημονική καθοδήγηση που μας πρόσφερε κατά την διάρκεια της εργασίας μας.

Θεοδωρίδης Σωτήριος
Κρυσταλλίδης Δημήτριος

Περίληψη

Σήμερα γνωρίζει ιδιαίτερη διάδοση η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για εφαρμογές όπου γίνεται παραγωγή και χρήση σε τοπικό επίπεδο. Για τα συστήματα αυτά παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας με την μορφή υδρογόνου, δηλαδή τη χρήση της ενέργειας αυτής για ηλεκτρόλυση νερού και η μετέπειτα χρησιμοποίηση του υδρογόνου σε διάταξη Κυψέλης Καυσίμου (ΚΚ) για παραγωγή εκ νέου ηλεκτρικής ενέργειας. Σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι η μελέτη των απαιτήσεων διαχείρισης και ελέγχου ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από ανεμογεννήτρια, φωτοβολταικά, μπαταρίες και διάταξη ηλεκτρόλυσης/Κυψέλης Καυσίμου.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναπόφευκτη μελλοντική εξάντληση των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, κάρβουνο, φυσικό αέριο κ.λ.π) σε συνδυασμό με την έκλυση ρυπών κατά τη χρήση τους για παραγωγή ενέργειας, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ένα φορέα ενέργειας που θα είναι ευρέως διαθέσιμος, ενώ παράλληλα δεν θα ρυπαίνει κατά τη χρήση του. Τέτοιες φορείς ενέργειας θα μπορούσαν να είναι ο ηλεκτρισμός, τα βιοκαύσιμα όπως η αιθανόλη, το βιοντίζελ κ.τ.λ, ή το υδρογόνο.

Επίσης σήμερα είναι κοινά αποδεκτό ότι η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας. Η αλλαγή αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στις εκπομπές των λεγόμενων «αερίων των θερμοκηπίων» που συνοδεύουν αναπόφευκτα τη παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα. Θεωρείται λοιπόν δεδομένη η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

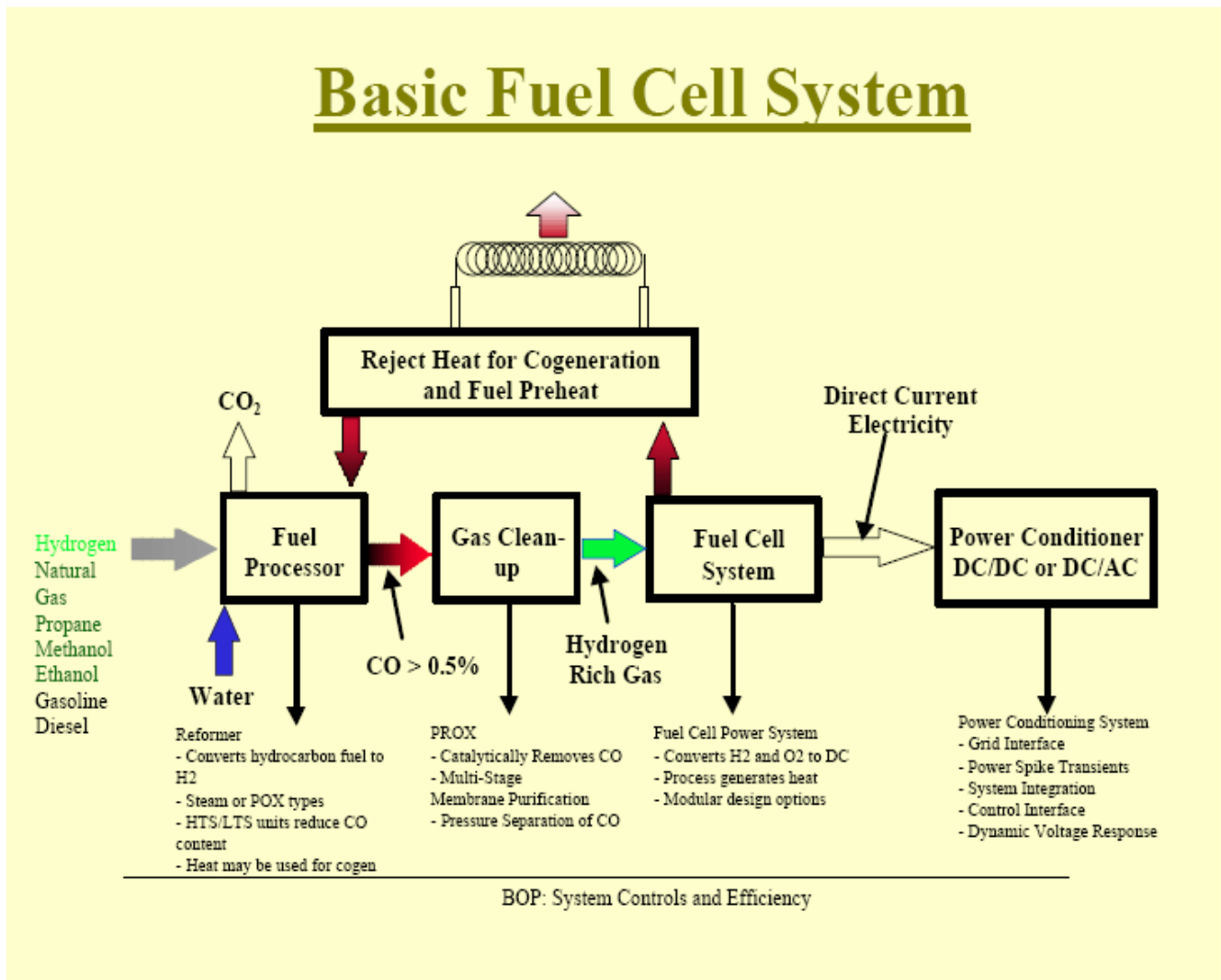
Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που τροφοδοτούνται με ενέργεια από τον ήλιο με τέτοιους ρυθμούς, ώστε να θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και ικανές να υποκαταστήσουν πολλές από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Είναι καθαρές πηγές ενέργειας.

Στόχος θέματος

Πρόκειται να δημιουργηθεί ένα μοντέλο του συστήματος σε περιβάλλον MATLAB SIMULINK και να σχεδιασθεί μια κεντρική στρατηγική ελέγχου βασισμένη σε γραμμικά ή μη γραμμικά (π.χ. Fuzzy logic) συστήματα.

Βασικό σύστημα κυψέλης καυσίμου



Σχ.1.1 Βασικό σύστημα κυψέλης καυσίμου

Παραπάνω βλέπουμε το μπλοκ διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση κυψέλης καυσίμου, χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το υδρογόνο.

Η διαδικασία παραγωγής, ξεκινάει με την εισαγωγή του καυσίμου (υδρογόνο) και νερού στον επεξεργαστή καυσίμου (fuel processor). Ο επεξεργαστής καυσίμου απομακρύνει τις προσμίξεις του CO₂ από το καύσιμο, έχοντας στην έξοδό του υδρογόνο με περιεκτικότητα σε CO >0.5%. Στη συνέχεια εισέρχεται το υδρογόνο αυτό στον “καθαριστή” καυσίμου, με αποτέλεσμα να έχουμε αέριο πλούσιο σε υδρογόνο δηλαδή σε συγκέντρωση CO <0.5%. Μετά οδηγείται στη κυψέλη καυσίμου όπου γίνεται η μετατροπή του υδρογόνου σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην έξοδο παίρνουμε DC τάση, η οποία μπορεί να οδηγηθεί σε ένα μετατροπέα τάσεως έτσι ώστε να έχουμε από DC/DC ή από DC/AC.

Το υδρογόνο όμως σε καθαρή αέρια μορφή συναντάται σπάνια παρόλο που πολλά ορυκτά και όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν ενώσεις του σε πολύ μεγάλο βαθμό (δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της γης). Έτσι είναι απαραίτητη η δημιουργία του, η οποία επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

Η διαδικασία αυτή απαιτεί την παρουσία ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα παραχθεί από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταικά.

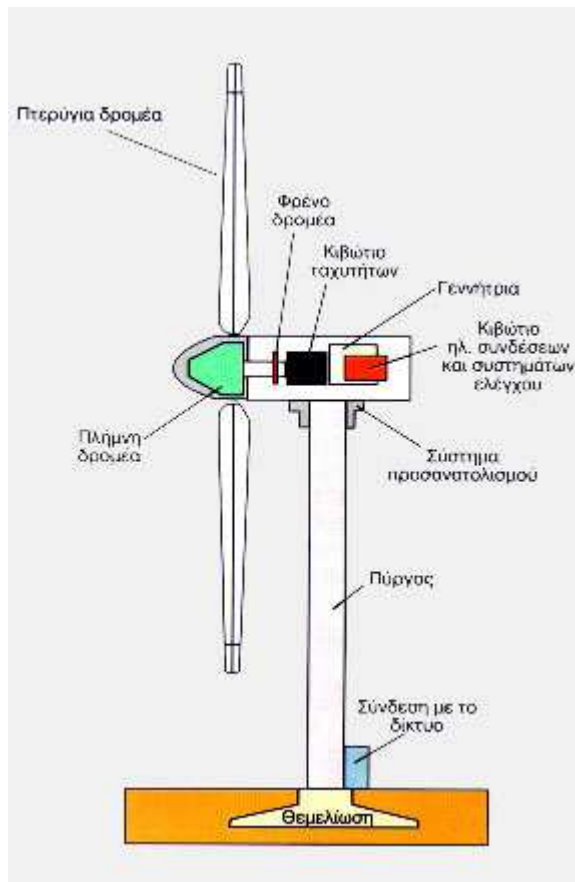
Παρακάτω θα αναφερθούμε στους δύο τρόπους παραγωγής της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας, ξεκινώντας με τις ανεμογεννήτριες.

Ανεμογεννήτρια

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Οριζόντιου άξονα, του οποίου ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με τη κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- Κατακόρυφου άξονα, του οποίου ο δρομέας παραμένει σταθερός και κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt. Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500KW είναι: ύψος 40-50 μέτρα και διάμετρος δρομέα 40 μέτρα. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:



Σχ.2.1 Ανεμογεννήτρια

- Το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους, η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- Το σύστημα προσανατολισμού, που αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου.

Φωτοβολταικά

Φωτοβολταική γεννήτρια: πρόκειται στην ουσία για ένα ηλεκτρονικό στοιχείο το οποίο ονομάζεται «δίοδος» και έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια που πέφτει πάνω του σε ηλεκτρικό ρεύμα. Πάρα πολλές «δίοδοι» μαζί συνθέτουν αυτό που ονομάζουμε φωτοβολταική πλάκα, η οποία μας δίνει τελικά στα άκρα της 12Volt συνεχές ρεύμα και έχει κάποια ισχύ ανάλογα με το μέγεθός της, δηλαδή ανάλογα με τον αριθμό «διόδων». Οι φωτοβολταικές γεννήτριες παράγουν ρεύμα όταν υπάρχει φως, δηλαδή ακόμη και στη διάρκεια μιας συννεφιασμένης μέρας, όχι όμως με την ίδια απόδοση, η οποία στην καλύτερη περίπτωση φτάνει το (12-14)%. Αυτό σημαίνει ότι από τις 100 μονάδες ηλιακής ενέργειας που πέφτουν στις πλάκες μετατρέπονται σε ρεύμα 12-14 μονάδες.

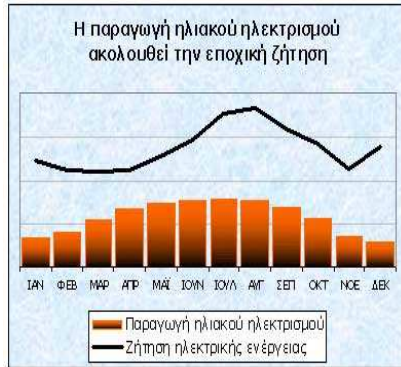


Σχ.2.2 Φωτοβολταικό

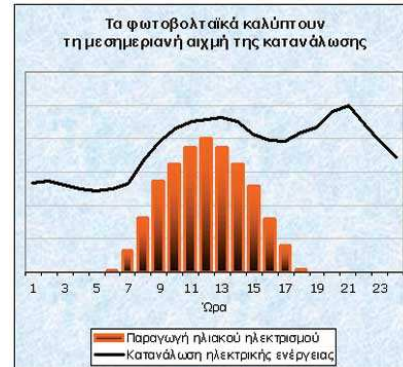


Σχ.2.3 Φωτοβολταικό

Γραφήματα



Σχ.2.4 Γραφική Απεικόνιση



Σχ.2.5 Γραφική Απεικόνιση

Παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, επόμενο βήμα είναι η αποθήκευσή της σε μπαταρίες. Η αποθήκευσή της γίνεται με σκοπό την μετέπειτα χρήση της.

Μπαταρίες

Οι μπαταρίες αποτελούν τη δεξαμενή, μέσα στην οποία διοχετεύεται το ρεύμα που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές πλάκες. Υπάρχουν πολλά είδη μπαταριών από άποψη μεγέθους και κατασκευής. Δεν είναι όμως όλα τα είδη κατάλληλα. Αν χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες μολυβδου (αυτοκινήτου), τότε δεν θα έχουμε τη δυνατότητα να αντλήσουμε το ρεύμα, που φαίνεται ότι μπορεί να μας δώσει η μπαταρία αυτή. Απλά, γιατί αν αντλήσουμε ως κάτω από το 40% της

χωρητικότητάς της, τότε υπάρχει κίνδυνος αχρήστευσης και τέλος πάντων η απόδοσή της θα πέσει κατακόρυφα.

Σε περίπτωση κλειστού τύπου μπαταριών που περιέχουν gel ή σκληνωτού τύπου, που είναι όμως πιο ακριβές από τις κοινές, έχουμε τη δυνατότητα να αντλούμε το περιεχόμενο τους από το 0% πάρα πολλές φορές χωρίς να καταστρέφονται και με δυνατότητα επαναφόρτισής τους ως το 100% με σταθερή απόδοση.



Σχ.2.6 Μπαταρία



Σχ.2.7 Μπαταρία

Ρυθμιστής Φόρτισης: Η συνιστώσα που ελέγχει την ροή του ρεύματος και βρίσκεται πριν τις μπαταρίες, τις οποίες προστατεύει από υπερφορτίσεις και υπερεκφορτίσεις. Ο ρυθμιστής φόρτισης μπορεί ακόμα να ελέγξει και να παρέχει προστασία στο σύστημα.

Ρυθμιστής φόρτισης

Είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που ελέγχει το ρυθμό που διοχετεύεται το ρεύμα από τις φωτοβολταϊκές πλάκες προς τις μπαταρίες. Όταν οι μπαταρίες είναι άδειες τότε όλο το ρεύμα από τις πλάκες διοχετεύεται σε αυτές. Όταν είναι σχεδόν γεμάτες, τότε ο ρυθμιστής φροντίζει ώστε ένα μικρότερο μέρος του συνολικού ρεύματος που παράγουν οι πλάκες να διοχετεύεται στις μπαταρίες. Στην περίπτωση που η φόρτιση των μπαταριών φτάσει σε ποσοστό 100%, τότε ο ρυθμιστής κλείνει το δρόμο του ρεύματος προς τις μπαταρίες. Έτσι, αποφεύγουμε την υπερφόρτιση των μπαταριών.



Σχ.2.8 Ρυθμιστής φόρτισης



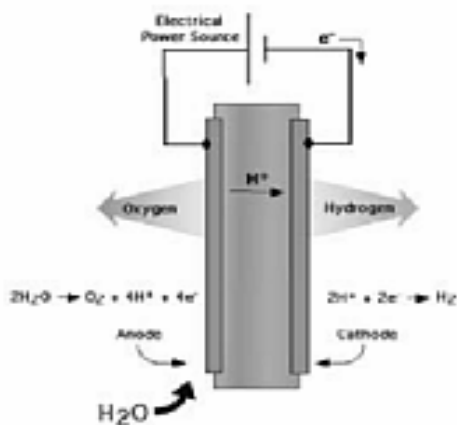
Σχ.2.9 Ρυθμιστής φόρτισης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι, ανάλογα με την ισχύ (A) του ρεύματος και την τάση (V) που δέχονται από τα φωτοβολταϊκά.

Παραπάνω απεικονίζονται δύο τύποι ρυθμιστών φόρτισης.

Ηλεκτρόλυση

Κατά την ηλεκτρόλυση το νερό διασπάται στα βασικά στοιχεία που το αποτελούν (υδρογόνο και οξυγόνο) με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα πλεονεκτήματα αυτής της διεργασίας είναι η υψηλής καθαρότητας υδρογόνο που παράγεται. Ωστόσο, αποτελεί ακριβή μέθοδο εξαιτίας του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο απαιτείται. Κατά την ηλεκτρόλυση, στην κάθοδο ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) ανάγονται σε υδρογόνο, ενώ στην άνοδο το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και πρωτόνια.



Σχ.2.10 Διάσπαση Υδρογόνου

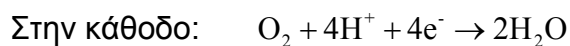


Σχ.2.11 Electrolyzer

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι το παραγόμενο οξυγόνο μπορούμε επίσης να το εκμεταλλευτούμε για βιομηχανική ή άλλη χρήση. Θεωρητικά 1,23Volt εφαρμοσμένης τάσης αρκούν για την διεξαγωγή της ηλεκτρόλυσης.

Πρακτικά, χρειάζεται περισσότερη τάση (1,55V με 1,65V). Η απόδοση της ηλεκτρόλυσης ορίζεται ως ο λόγος του 1,23 προς την τάση που χρησιμοποιείται. Με τάση 1,6V έχουμε απόδοση 77%. Η αντίδραση της καθόδου, εμπλέκει 4 ηλεκτρόνια και η οξείδωση πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων προϊόντων. Σε αυτό οφείλεται η ανάγκη επιπλέον τάσης καθώς η όλη διαδικασία χαρακτηρίζεται από αργό κινητικό μηχανισμό. Η χρήση καταλύτη βοηθά στη μείωση αυτής της τάσης και επιταχύνει τη διαδικασία. Ένας ιδανικός καταλύτης για την οξείδωση του νερού θα πρέπει να εξισορροπεί την απαιτούμενη ενέργεια του κάθε ενδιάμεσου βήματος και επίσης εξισορροπεί τους ρυθμούς μεταφοράς κάθε ηλεκτρονίου.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω:



Υδρογόνο

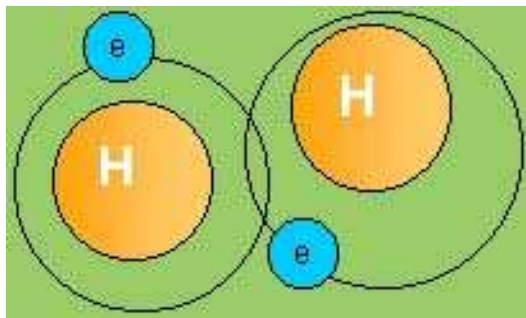
Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο αέριο στη φύση. Στη γη, βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και αλλού. Για να παραχθεί υδρογόνο απαιτείται ενέργεια, άρα το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας (μιας και δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση), αλλά είναι φορέας ενέργειας. Αν μάλιστα παραχθεί από καθαρή ενεργειακή πηγή, τότε είναι καθαρός φορέας ενέργειας. Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον, τόσο στα σπίτια όσο και στα αυτοκίνητά μας. Έχει το πλεονέκτημα όταν «καίγεται» να μην ρυπαίνει την ατμόσφαιρα αφού παράγει μόνο θερμότητα και νερό. Το υδρογόνο στο μέλλον θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, δηλαδή μια διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο και οξυγόνο.

Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να προέρχεται από τον άνεμο ή τον ήλιο, δηλαδή από μια ανεμογεννήτρια ή ένα φωτοβολταϊκό. Έτσι η παραγωγή του υδρογόνου θα είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον.

Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας

Πλεονεκτήματα.

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο 120,7kj/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Κάνει καθαρή καύση όταν καίγεται με οξυγόνο, δηλαδή παράγει μόνο νερό και θερμότητα.
- Δεν συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος .



Σχ.3.1 Μόριο Υδρογόνου

Μειονεκτήματα.

- Ένα πρόβλημα είναι αυτό της αποθήκευσής του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπύεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση του.
- Πρόβλημα επίσης αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του.

Ιστορική αναδρομή

Κυψέλες καυσίμου αναπτύχθηκαν θεωρητικά στο τέλος του 19ου αιώνα. Οι πρώτες πρακτικές κυψέλες καυσίμου κατασκευάστηκαν για το διαστημικό πρόγραμμα *Απόλλων* για τη παραγωγή νερού για τις ανάγκες των αστροναυτών. Οι κυψέλες καυσίμου εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στο διάστημα ακόμη και σήμερα. Στη γη κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται σε πειράματα για την κίνηση αυτοκινήτων καθώς και για οικιακή και βιομηχανική χρήση.

Κυψέλη καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που ενώνει το υδρογόνο (H_2) και το οξυγόνο (O_2) και παράγει μόνο νερό, θερμότητα και ηλεκτρισμό.



Σχ.4.1 Κυψέλη Καυσίμου

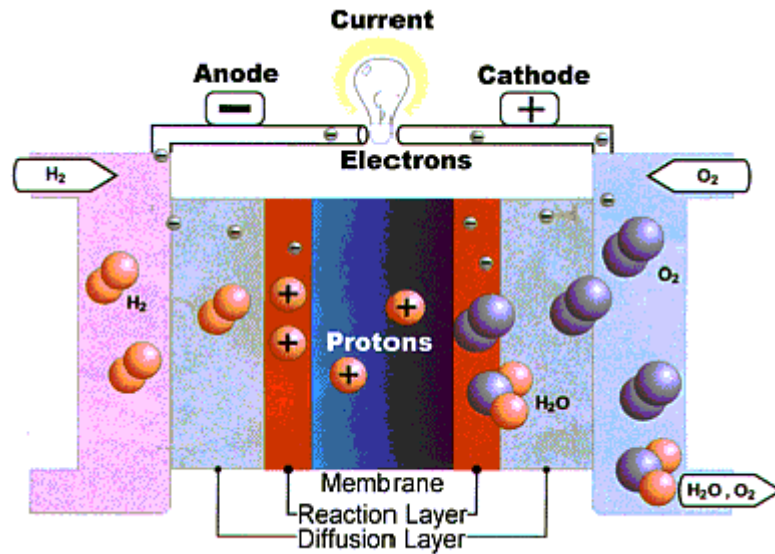
Η κυψέλη καυσίμου είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναμένεται να προσφέρει μια καθαρή και αποδοτική πηγή ισχύος για πολλές εφαρμογές. Η κυψέλη καυσίμου μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κέντρο ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτή που αναλαμβάνει τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Τρόπος λειτουργίας

Μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται από μια άνοδο και μια κάθοδο που έχουν ένα ηλεκτρολύτη ανάμεσα τους. Ο ηλεκτρολύτης έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα να επιτρέπει στα θετικά φορτισμένα ιόντα να περνούν διαμέσω αυτού, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο για τα ουδέτερα μόρια και τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια της ανόδου της κυψέλης. Η κυψέλη καυσίμου τροφοδοτείται με μόρια H_2 όπου ένας καταλύτης (συνήθως πλατίνα) χωρίζει κάθε μόριο σε δύο θετικά ιόντα H^+ και δύο ηλεκτρόνια.

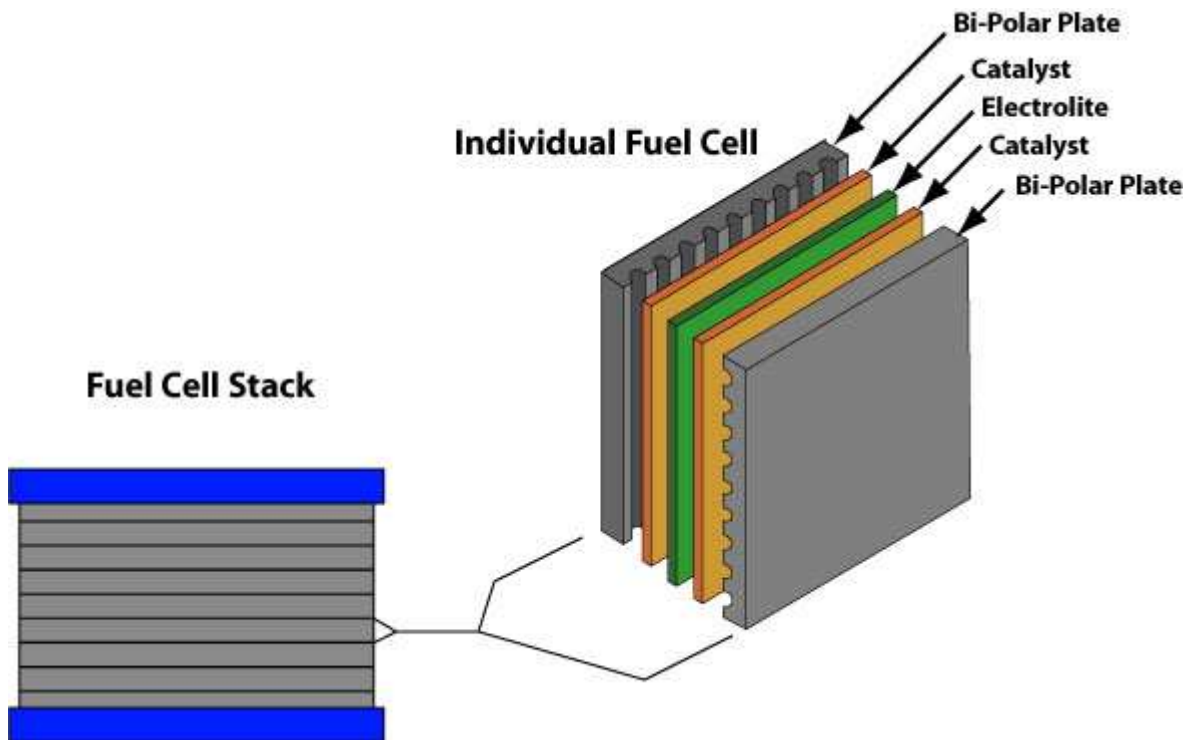
Τα ιόντα H^+ περνούν ελεύθερα από τον ηλεκτρολύτη για να ενωθούν με τα μόρια του οξυγόνου στη κάθοδο, αλλά τα ηλεκτρόνια παραμένουν αποκλεισμένα.

Τα ηλεκτρόνια τρέχουν διαμέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος από την άνοδο στην κάθοδο και επανενώνονται με τα ιόντα του H_2 και με τα μόρια του οξυγόνου για το σχηματισμό νερού. Αυτή η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος



Σχ.4.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

δίνει συνεχές ρεύμα. Κάθε κυψέλη καυσίμου παράγει θεωρητικά 1,6Volt, πρακτικά όμως 0,7Volt αλλά οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σε συστοιχίες μέχρι την επιθυμητή τους τάση. Ωστόσο επειδή αυτή η τάση είναι μικρή και επομένως ακατάλληλη για τις περισσότερες πιθανές εφαρμογές, γίνεται χρήση παραπάνω από μίας κυψέλης συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, δημιουργώντας αυτό το οποίο ονομάζουμε στήλη κυψέλης καυσίμου (Fuel cell stack).



Σχ.4.3 Στήλη κυψέλης καυσίμου

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται η κυψέλη, η στήλη μπορεί να αποτελείται από μερικές έως εκατοντάδες κυψέλες. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου εκτός από μεγάλη τάση και μεγάλη ισχύ χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια στήλη κυψέλης καυσίμου σε σειρά, οι τελευταίες χρειάζονται συνεχή τροφοδοσία με υδρογόνο όταν λειτουργούν. Το οξυγόνο που απαιτείται για την αντίδραση προέρχεται από τον αέρα.

Τύποι κυψελών καυσίμου

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου, που ξεχωρίζουν κυρίως από τη σύνθεση του ηλεκτρολύτη τους. Η κυψέλη με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) είναι η πιο κατάλληλη για εφαρμογές μηχανών κίνησης και πολλών άλλων. Αυτές οι κυψέλες καυσίμων λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους στην ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών αναγκών. Σε αυτό βοηθά η ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.

FUEL CELL/POWER GEN TECHNOLOGIES					
Technology	Electrolyte	Temperature	Efficiency (%)		Power Range (kW)
			Electrical	Overall	
PEMFC	Ion exchange membrane	50 °C	30-35	50-65	<1 - 250
AFC	KOH	80 °C	Low	Low	<1 - 50
PAFC	Phosphoric Acid	200 °C	36	80	200 - 1000
MCFC	Alkali Carbonates	650 °C	45-55	75-80	250 - 5000
SOFC High Temp.	Solid metal oxide	980 °C	45-47	75-80	250 - 5000
SOFC Low Temp.	Solid metal oxide	660 °C	42-45	60-70	3 - 250
Diesel Engine	N/A	980 °C	33-36		50 - 6000
Gasoline Engine	N/A	980 °C	30-35		5 - 2000
Turbine	N/A	1,000 °C +	30-45		1000 - 100 MW
Microturbine	N/A	1,000 °C +	26-30		25 - 100

Σχ.4.4 Πίνακας με τύπους κυψελών καυσίμου

Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells, PAFC) είναι αυτές που είναι διαθέσιμες σήμερα στο εμπόριο. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

Κυψέλη καυσίμου MCFC

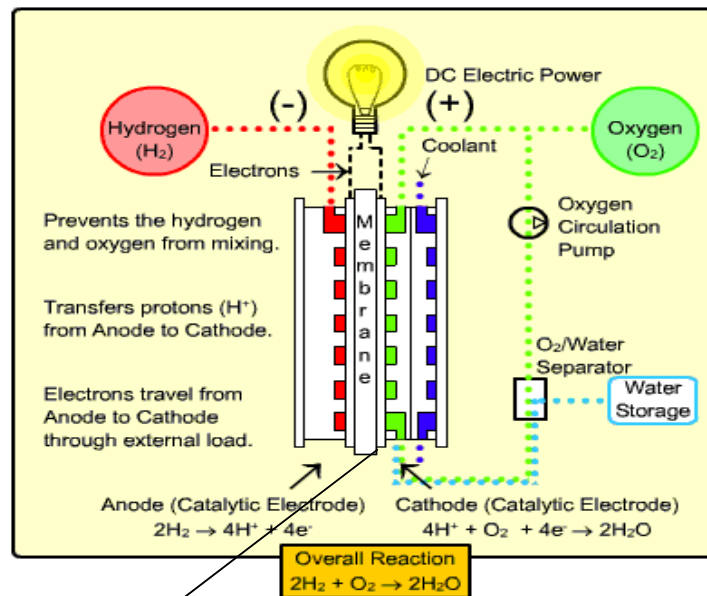
Αυτές οι κυψέλες (molten carbonate fuel cells , MCFC) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Ενώ χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης, οι θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες λειτουργούν (περίπου 650 °C), δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο δεν είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

Κυψέλη καυσίμου SOFC

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (solid oxide fuel cells , SOFC), όπως και ο προηγούμενος, ενδείκνυται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με απόδοση στο 60% και παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100kW. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο δεν είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

Μεμβράνη κυψέλης

Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της κυψέλης καυσίμου βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης. Ονομάζεται έτσι λόγω της ιδιότητάς του να διασπάζεται σε αρνητικά και θετικά ιόντα. Στη περίπτωση μιας PEM κυψέλης, ο ηλεκτρολύτης είναι ένα πλαστικό οργανικό πολυμερές και συνηθέστερα ονομάζεται μεμβράνη. Μια τυπική τέτοια μεμβράνη αποτελείται από τρεις ομάδες ατόμων.



Σχ.4.5 Μεμβράνη κυψέλης καυσίμου

Εδώ μπορούμε να διακρίνουμε τη μεμβράνη μιας κυψέλης καυσίμου.

Πλεονεκτήματα κυψελών καυσίμων

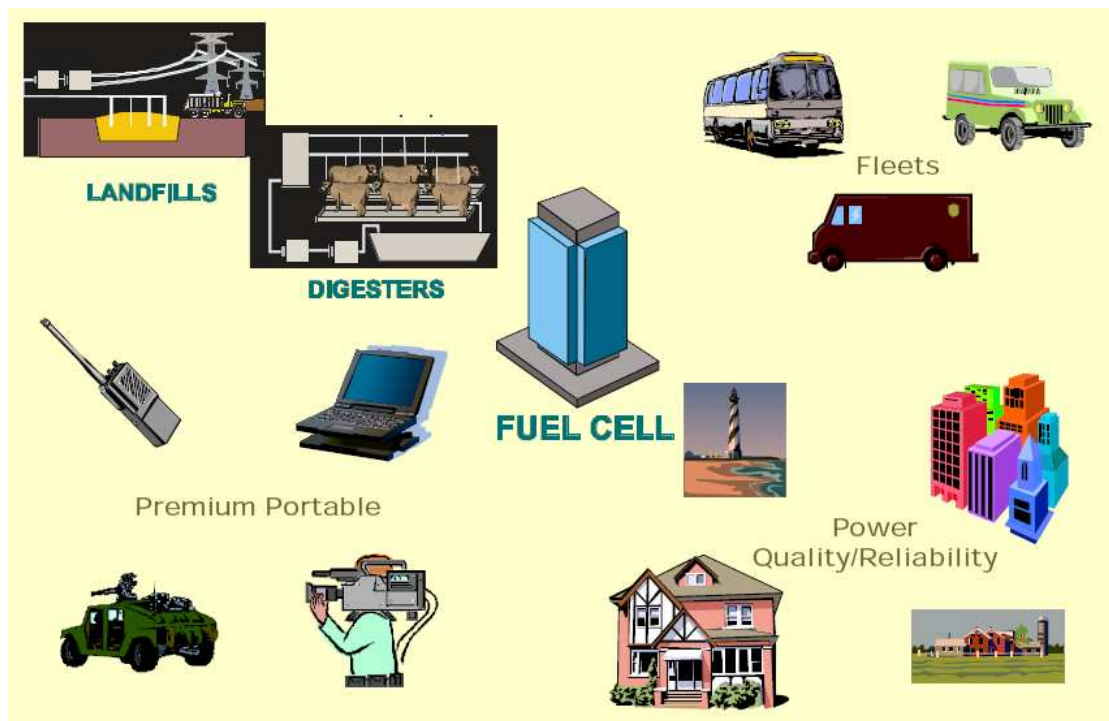
- Η κυψέλη καυσίμου είναι ήσυχη (αθόρυβη σε κανονική λειτουργία) επαρκής και καθαρή.
- Η κυψέλη καυσίμου συνήθως λειτουργεί με καθαρό αέριο υδρογόνου, το οποίο μπορεί να παραχθεί από ηλιακή ενέργεια όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Η κυψέλη καυσίμου που λειτουργεί με υδρογόνο δεν μολύνει το περιβάλλον, το μόνο παραπροϊόν είναι το καθαρό και ζεστό νερό.
- Η κυψέλη καυσίμου έχει βαθμό απόδοσης περίπου στο 80% ενώ στις μηχανές εσωτερικής καύσης ο βαθμός απόδοσης είναι μόνο (12-15)%. Αφού δεν υπάρχουν μετακινούμενα μέρη, η κυψέλη καυσίμου μπορεί να είναι πολύ αξιόπιστη.

Αξιοπιστία κυψελών καυσίμων

Οι κυψέλες καυσίμων χρησιμοποιούνται στα διαστημικά προγράμματα. Οι κυψέλες καυσίμων PEM είναι μια νέα υψηλή τεχνολογία και οι καταλληλότερες για χρήση σε οχήματα και για οικιακή ή βιομηχανική χρήση. Είναι σε θέση να διαρκέσουν τουλάχιστον είκοσι χρόνια χωρίς να χρειάζονται αντικατάσταση.

Εφαρμογές των κυψελών καυσίμων

- Σπίτι, γραφείο, πολυώροφα κτίρια, εστιατόρια, εργοστάσια, βιοτεχνίες.
- Πολυκαταστήματα, super markets.
- Βενζινάδικα, πάρκινγκ, αθλητικές εγκαταστάσεις, σχολεία, τράπεζες.
- Νοσοκομεία, θέατρα, κινηματογράφοι, χώροι αναψυχής.






Σχ.4.6 Εφαρμογές Κυψελών Καυσίμων

- Πισίνες, ενυδρεία.
- Αεροδρόμια, ελικοδρόμια, σταθμοί λεωφορείων και τρένων, γκαράζ
- Για την αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε νησιά με παραγωγή υδρογόνου από τον ήλιο και τον άνεμο.
- Δήμοι και κοινότητες
- Συστήματα UPS ισχύος (500-1000)Watt για αναμεταδότες κινητής τηλεφωνίας.

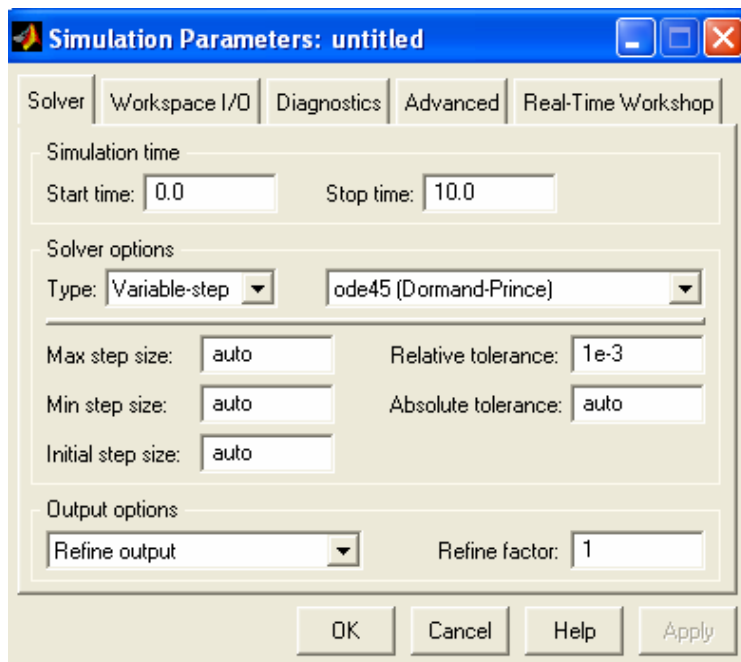
Υλοποίηση του συστήματος σε περιβάλλον MATLAB Simulink.

Περιγραφή προγράμματος MATLAB 6.1



Το Simulink είναι τμήμα του πακέτου λογισμικού Matlab (Math Works) που επιτρέπει τη μοντελοποίηση, προσομοίωση και ανάλυση δυναμικών συστημάτων. Υποστηρίζει γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα, μοντελοποιημένα σε συνεχή ή διακριτό χρόνο, ή ακόμη και υβριδικά συστήματα (εν μέρει μοντελοποιημένα σε συνεχή και εν μέρει σε διακριτό χρόνο). Για τη μοντελοποίηση, το SIMULINK παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον που επιτρέπει την κατασκευή μοντέλων χρησιμοποιώντας λειτουργίες click-and-drag του ποντικιού. Το SIMULINK περιλαμβάνει ένα πλήθος βιβλιοθηκών δομικών στοιχείων (blocks), τα βασικότερα από τα οποία είναι οι πηγές (sources), τα στοιχεία «απορρόφησης» (sinks), τα συνεχή γραμμικά στοιχεία, τα μη γραμμικά στοιχεία και τα στοιχεία σημάτων και συστημάτων. Μετά τη δημιουργία ενός μοντέλου, είναι δυνατή η προσομοίωσή του, χρησιμοποιώντας μια από τις διάφορες μεθόδους ολοκλήρωσης που παρέχει το SIMULINK. Χρησιμοποιώντας παλμογράφους (scopes) και άλλα μπλοκ απεικόνισης, είναι δυνατή η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα νέο μοντέλο ή να ανοίξουμε ένα αποθηκευμένο μοντέλο, στο παράθυρο εντολών της MATLAB κάνουμε αρχικά κλικ στο εικονίδιο  το οποίο ανοίγει τον browser των βιβλιοθηκών του SIMULINK. Από το παράθυρο του browser

μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα νέο μοντέλο, κάνοντας κλικ στο εικονίδιο  ή να ανοίξουμε ένα αποθηκευμένο μοντέλο, κάνοντας κλικ στο εικονίδιο . Μετά το σχεδιασμό του μοντέλου και το καθορισμό όλων των απαιτούμενων παραμέτρων για τα μπλοκ που περιλαμβάνονται στο μοντέλο, πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι της προσομοίωσης. Αυτό είναι δυνατό μέσω του μενού “Simulation” του παραθύρου του μοντέλου.

Επιλέγοντας το μενού “Parameters...” εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ.5.1 Παράμετροι Simulation

Μετά και τον καθορισμό των παραμέτρων της προσομοίωσης είναι δυνατή η εκτέλεσή της. Αυτό μπορεί να γίνει είτε από το μενού “Simulation”, όπου επιλέγουμε “Start”, είτε κάνοντας κλικ στο εικονίδιο . Η προσομοίωση σταματάει μόλις ο χρόνος φτάσει την τιμή που είχε τεθεί στην παράμετρο “Stop time”. Μπορούμε να διακόψουμε την προσομοίωση αν επιλέξουμε “Stop” από το μενού “Simulation” ή κάνουμε κλικ στο εικονίδιο .

[Οι βασικές βιβλιοθήκες δομικών στοιχείων του SIMULINK](#)

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται ορισμένα από τα δομικά στοιχεία των βιβλιοθηκών του SIMULINK, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως κατά τη μοντελοποίηση γραμμικών συστημάτων.

Βιβλιοθήκη	Δομικό στοιχείο	Λειτουργία
Sources - περιέχει μπλοκ τα οποία είναι πηγές σημάτων (δεν έχουν είσοδο, παράγουν ως έξοδο ένα σήμα)	Constant	Σταθερά
	Step	Βηματική συνάρτηση
	Ramp	Συνάρτηση αναρρίχησης
	Pulse generator	Γεννήτρια παλμών
	Random number	Γεννήτρια τυχαίου σήματος (κανονική κατανομή)
	Sine wave	Γεννήτρια ημιτόνου
	Signal generator	Γεννήτρια σημάτων (παράγει διάφορες κυματομορφές)
Sinks - περιέχει μπλοκ τα οποία είναι στοιχεία «απορρόφησης» σημάτων (δεν έχουν έξοδο, δέχονται μόνο είσοδο)	Display	Οθόνη απεικόνισης τιμών
	Scope	Παλμογράφος
	Stop Simulation	Τερματισμός προσομοίωσης
	To Workspace	Αποθήκευση στο χώρο εργασίας
Continuous - περιέχει μπλοκ για τη μοντελοποίηση γραμμικών συστημάτων συνεχούς χρόνου	Derivative	Παραγωγήιση
	Integrator	Ολοκλήρωση
	State space	Μοντέλο συστήματος στο χώρο κατάστασης
	Transfer function	Μοντέλο συστήματος συνάρτησης μεταφοράς
	Zero-pole	Μοντέλο συστήματος πόλων – μηδενικών
Nonlinear - περιέχει μπλοκ που μοντελοποιούν μη γραμμικά στοιχεία	Saturation	Στοιχείο κόρου
	Manual Switch	Χειροκίνητος διακόπτης
	Switch	Διακόπτης
	Quantizer	Κβαντιστής σήματος

Σχ.5.2 Βιβλιοθήκη

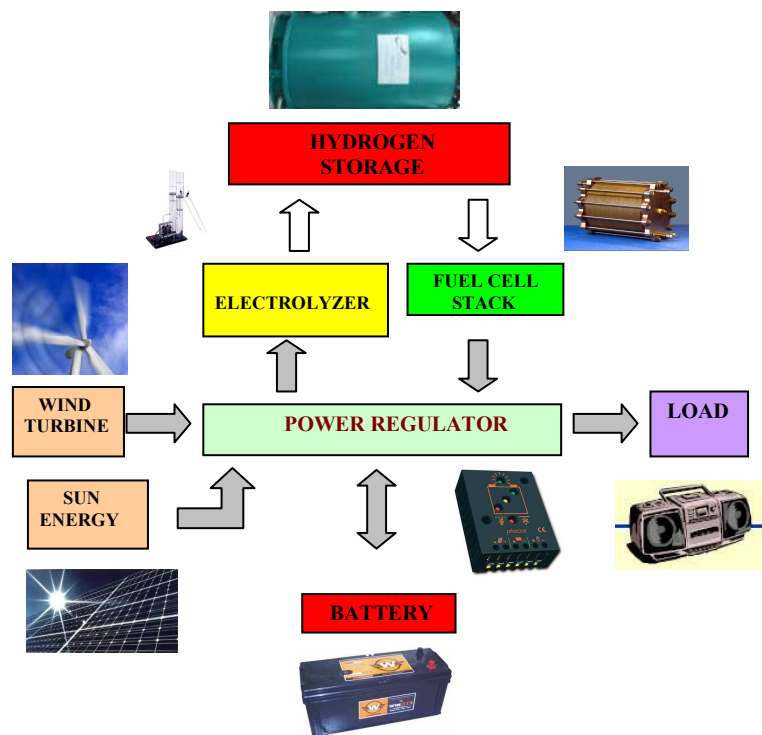
Βιβλιοθήκη	Δομικό στοιχείο	Λειτουργία
Math - Περιέχει μπλοκ που μοντελοποιούν μαθηματικές πράξεις και συναρτήσεις	Abs	Απόλυτη τιμή
	Gain	Κέρδος
	Math function	Διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις
	Matrix Gain	Πίνακας κερδών
	MinMax	Ελάχιστο ή μέγιστο
	Product	Πολλαπλασιασμός ή διαίρεση
	Rounding Function	Συνάρτηση στρογγύλευσης
	Sign	Εύρεση προσήμου
	Slider gain	Μεταβλητό κέρδος
	Sum	Άθροιση ή αφαίρεση
Trigonometric function	Τριγωνομετρικές συναρτήσεις	
Signals and Systems - Περιέχει στοιχεία διασύνδεσης σημάτων και συστημάτων	In1	Θύρα εισόδου υποσυστήματος ή μοντέλου
	Demux	Αποπλέκτης σημάτων
	Mux	Πολυπλέκτης σημάτων
	Terminator	Τερματισμός ασύνδετων σημάτων (δέχεται μόνο είσοδο)
	Out1	Θύρα εξόδου υποσυστήματος ή μοντέλου
Control Systems Toolbox - Περιέχει στοιχεία μοντελοποίησης συστημάτων ελέγχου	LTI System	Μοντελοποίηση γραμμικού χρονικά αναλλοίωτου συστήματος με διάφορους τρόπους (μέσω συνάρτησης μεταφοράς, στο χώρο κατάστασης, αναπαράσταση πόλων – μηδενικών)

Σχ.5.3 Βιβλιοθήκη

Μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημά μας

Τα μέρη του συστήματός μας είναι τα εξής:

Μια ανεμογεννήτρια (Wind turbine), ένας μετατροπέας εναλλασσόμενου σήματος σε συνεχές σήμα (Converter AC/DC), μια στήλη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Battery), ένας μετατροπέας ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική (Electrolyzer), μια δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου (Hydrogen Storage), μια κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell), ένας μετατροπέας συνεχούς σήματος σε εναλλασσόμενο σήμα (Converter DC/AC), ένα φορτίο επαγωγικής, χωρητικής και ωμικής συμπεριφοράς (RLC Load).



Σχ.5.3 Block Διάγραμμα

Τρόπος λειτουργίας και περιγραφή του συστήματος

Αρχικά χρησιμοποιούμε μια ανεμογεννήτρια (Wind turbine) της οποίας η ισχύς εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Για παράδειγμα μια ανεμογεννήτρια της οποίας ο ρότορας έχει διάμετρο 1,14m παράγει ισχύ 400W για ταχύτητα ανέμου 12,5m/sec. Στην έξοδο της ανεμογεννήτριας έχουμε παραγωγή εναλλασσόμενου σήματος το οποίο έχει διακυμάνσεις ανάλογες με την ταχύτητα του ανέμου. (Αυτή η φυσική αστάθεια είναι το κύριο πρόβλημα που δημιουργείται και λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η εισαγωγή κατάλληλων ενεργειακών μετατροπέων. Άλλο ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η αποθήκευση της παραγομένης ενέργειας για μελλοντική χρήση όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος αέρας ενώ η ενεργειακή απαίτηση συνεχίζει να υπάρχει. Το εναλλασσόμενο αυτό σήμα εισέρχεται σε έναν μετατροπέα τάσης (AC/DC converter) με αποτέλεσμα να έχουμε στην έξοδο του συνεχές σήμα το οποίο οδηγείται στο Electrolyzer. Η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο του Converter αποθηκεύεται σε μια μπαταρία, δηλαδή ο Electrolyzer χρησιμοποιεί συγκεκριμένο ποσό ενέργειας για την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης. Έπειτα η κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell) χρησιμοποιεί ως καύσιμο το υδρογόνο για την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος. Δηλαδή γίνεται μια μετατροπή χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ποσότητα υδρογόνου που απαιτείται από την κυψέλη καυσίμου εξαρτάται από την απαίτηση ισχύος στο φορτίο (RLC Load). Επομένως η περίσσεια υδρογόνου αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή (Hydrogen storage). Ο έλεγχος της ροής υδρογόνου αξιοποιείται με ανάδραση του ρεύματος εξόδου στην είσοδο του Electrolyzer. Το σήμα αυτό στην έξοδο της κυψέλης καυσίμου είναι συνεχές, επομένως πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο σήμα (DC/AC Converter) αφού το σύστημα μας θα χρησιμοποιηθεί για οικιακές εφαρμογές.

Σχεδιασμός και το δυναμικό μοντέλο της Wind turbine

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το μαθηματικό πρότυπο των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

A	turbine swept area [m ²]
c_p	performance coefficient of the turbine
c_{p_pu}	per unit (p.u.) value of the performance coefficient c_p
k_p	power gain for $c_{p_pu} = 1$ and $u_{wind_pu} = 1$ p.u., $k_p \leq 1$
P_m	mechanical output power of the turbine [W]
P_{m_pu}	power in p.u. of nominal power for particular values of ρ and A
β	blade pitch angle [°]
λ	tip speed ratio of the rotor blade tip speed to wind speed
ρ	air density [kg (m ³) ⁻¹]
U_{wind}	wind speed [m s ⁻¹]
U_{wind_pu}	p.u. value of the base wind speed. The based wind speed is the mean value of the expected wind speed in (m s ⁻¹).

Η ισχύς στην έξοδο της ανεμογεννήτριας δίνεται από την σχέση:

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} U_{wind}^3$$

και μπορεί να απλοποιηθεί για συγκεκριμένες τιμές των ρ και A .

Η ίδια εξίσωση σε μονάδες μέτρησης (p.u.) εκφράζεται από την σχέση:

$$P_{m_pu} = K_p C_{p_pu} U_{wind_pu}^3$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το μαθηματικό πρότυπο του κινητήρα της ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

E_s	stator induced voltage per phase
F	combined rotor and load viscous friction coefficient

f_n	nominal frequency
H	combined rotor and load inertia constant
I_s	stator current
n_s	synchronous rotations per minute
p	number of pole pairs
P_e	electrical power output
P_m	mechanical input power
R'_s	combined rotor and stator resistance and inductance
L'_s	referred to stator
S_n	apparent power output
T_e	electromagnetic torque
T_m	shaft mechanical torque
V_s	stator terminal voltage per phase
δ	power angle
θ_m	rotor angular position
ω_m	angular velocity of the rotor

Η ταχύτητα συγχρονισμού και η γωνιακή ταχύτητα δίνονται από τις σχέσεις:

$$n_s = \frac{60}{p} f_n$$

$$\omega_m = \frac{2\pi}{60} n_s$$

όπου p ο αριθμός των πόλων σε ζεύγη και f_n η ονομαστική συχνότητα.

Η σχέση μεταξύ της παραγόμενης και τερματικής τάσης του στάτορα δίνεται από την σχέση:

$$V_s = E_s - (R'_s + j2\pi f L'_s) I_s$$

όπου E_s η τάση που προκαλεί ο στατορας, R_s η επαγωγική αντίσταση από τον συνδυασμό στάτορα και ρότορα, I_s ρεύμα στάτορα.

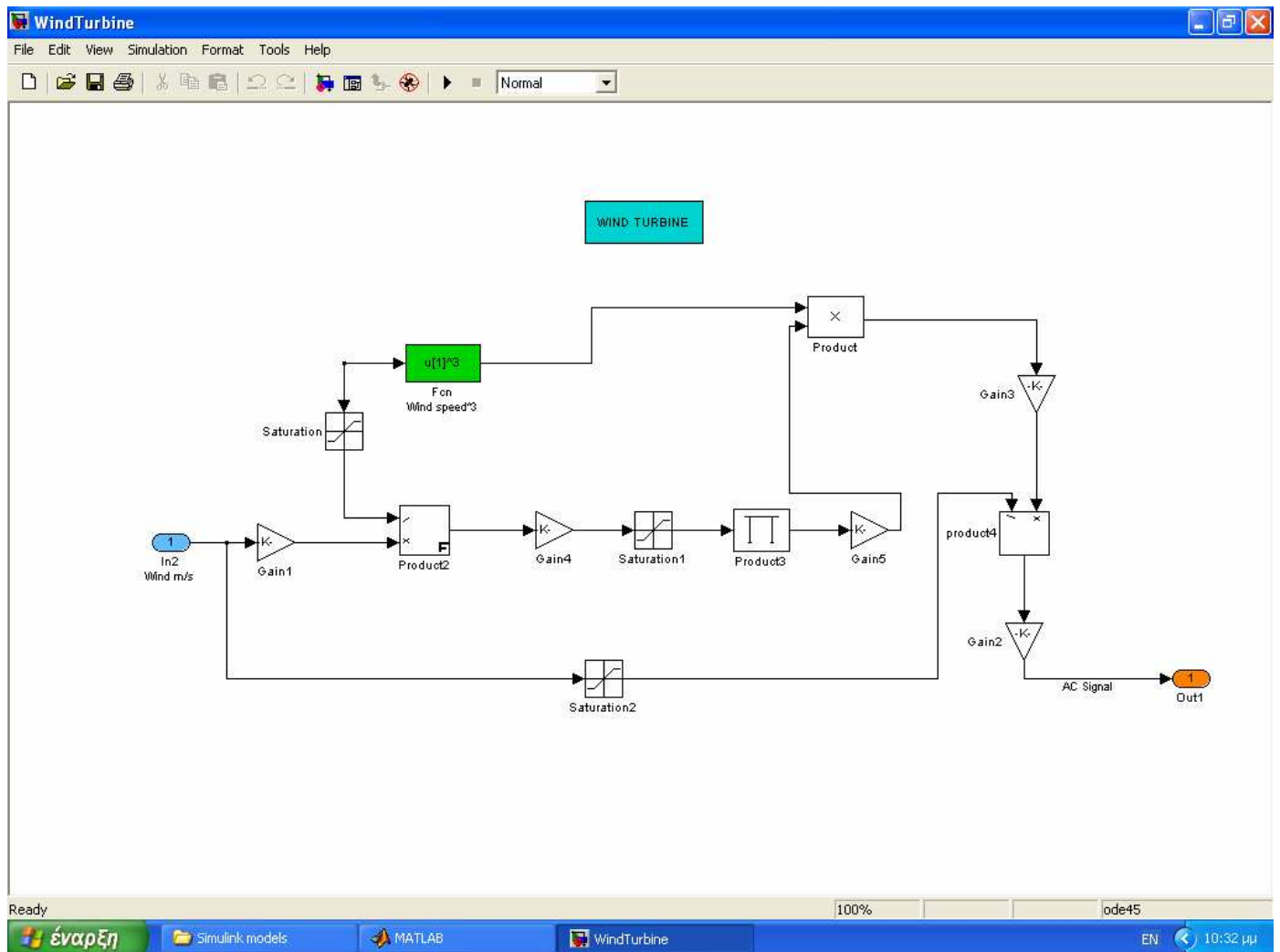
Η φαινομενική ισχύς εξόδου που εισάγει η γεννήτρια προσδιορίζεται από την σχέση:

$$S_n = 3V_s I_s^*$$

και η ενεργός τιμή της ισχύος στην έξοδο της μηχανής από την σχέση:

$$P_e = 3 \frac{E_s V_s}{\sqrt{R_s'^2 + (2\pi f L_s')^2}} \sin \delta$$

Βάσει των παραπάνω σχέσεων και παραμέτρων υλοποιούμε την ανεμογεννήτρια σε περιβάλλον MATLAB Simulink.

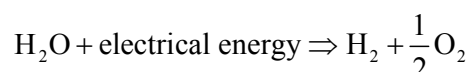


Σχ.6.1
Σχεδιασμός Wind Turbine

Σχεδιασμός και δυναμικό μοντέλο του Electrolyzer

Όπως αναφέραμε και πριν στην λειτουργία του συστήματος, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα περάσει μέσα από τα ηλεκτρόδια τα οποία διαχωρίζονται από έναν υδάτινο ηλεκτρολύτη έχουμε την παραγωγή οξυγόνου και υδρογόνου.

Η ηλεκτρομηχανική αντίδραση της ηλεκτρόλυσης του νερού δίνεται παρακάτω :



Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το μαθηματικό πρότυπο του Electrolyzer είναι οι εξής:

F	Faraday constant [C kmol^{-1}]
i_e	electrolyzer current [A]
n_c	the number of electrolyzer cells in series
η_F	Faraday efficiency
n_{H_2}	produced hydrogen moles per second [mol s^{-1}]

Σύμφωνα με τον νόμο του Faraday ο ρυθμός παραγωγής του υδρογόνου σε ένα κελί ηλεκτρολύτη είναι ανάλογος με το ηλεκτρικό ρεύμα του ισοδύναμου κυκλώματος του Electrolyzer.

Ο αριθμός των μορίων που παράγονται δίνεται από την σχέση:

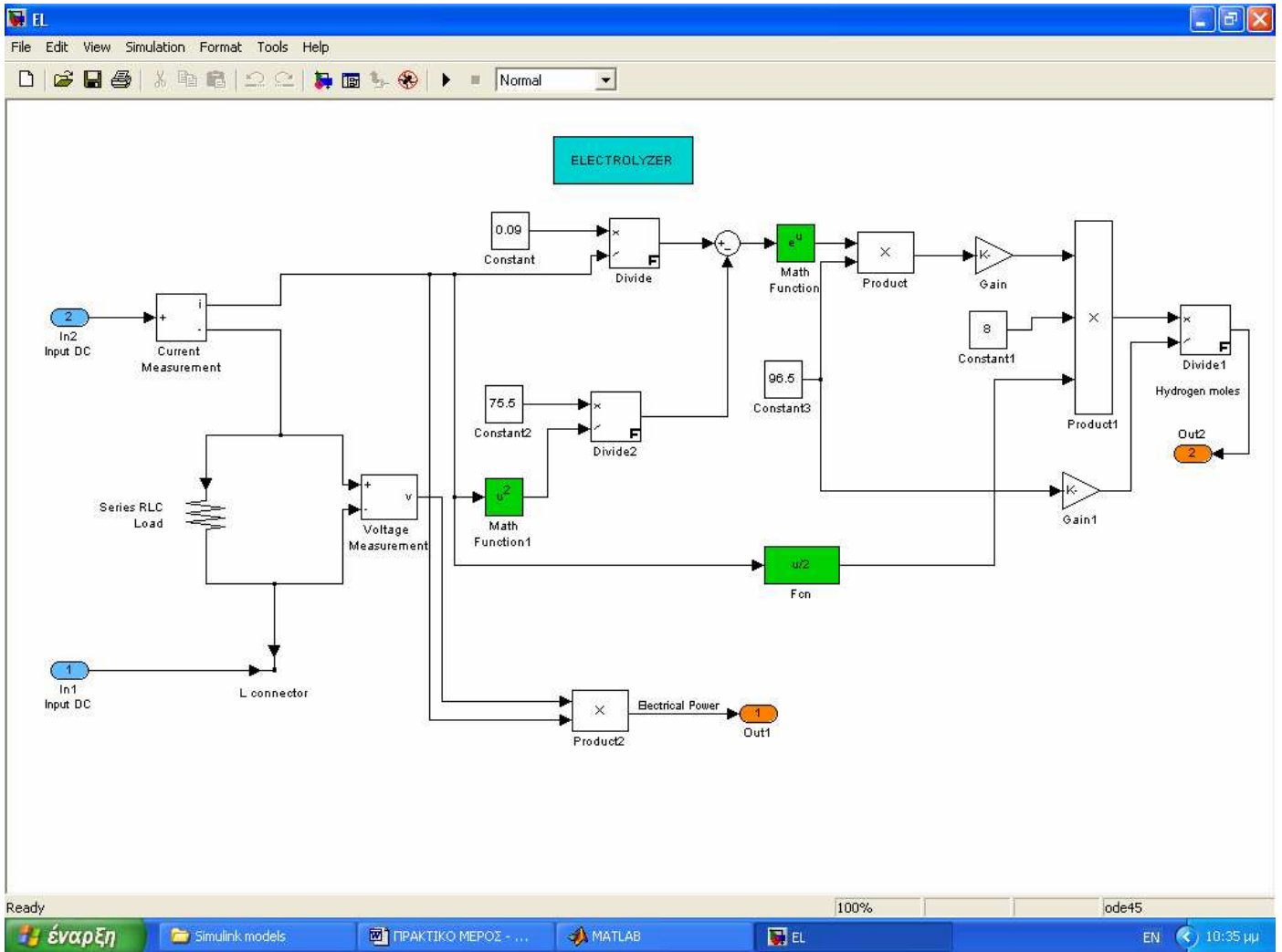
$$n_{\text{H}_2} = \frac{n_F n_c i_e}{2F}$$

Ο λόγος μεταξύ της πραγματικής και της θεωρητικής μέγιστης ποσότητας υδρογόνου που παράγεται στον Electrolyzer είναι γνωστή ως απόδοση του Faraday.

Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία λειτουργίας του Electrolyzer είναι στους 40 βαθμούς Κελσίου τότε η απόδοση του Faraday θα είναι:

$$n_F = 96.5e^{(10.09/i_e - 75.5/i_e^2)}$$

Βάσει των παραπάνω σχέσεων και παραμέτρων υλοποιούμε το Electrolyzer σε περιβάλλον MATLAB Simulink.



Σχ.6.2 Σχεδιασμός Electrolyzer

Σχεδιασμός και δυναμικό μοντέλο του Hydrogen Storage

Μια από τις τεχνικές αποθήκευσης υδρογόνου είναι η φυσική αποθήκευσή του, η οποία περιλαμβάνει δεξαμενές απόθεσης είτε για αέρια μορφή υδρογόνου είτε για υγρή μορφή υδρογόνου.

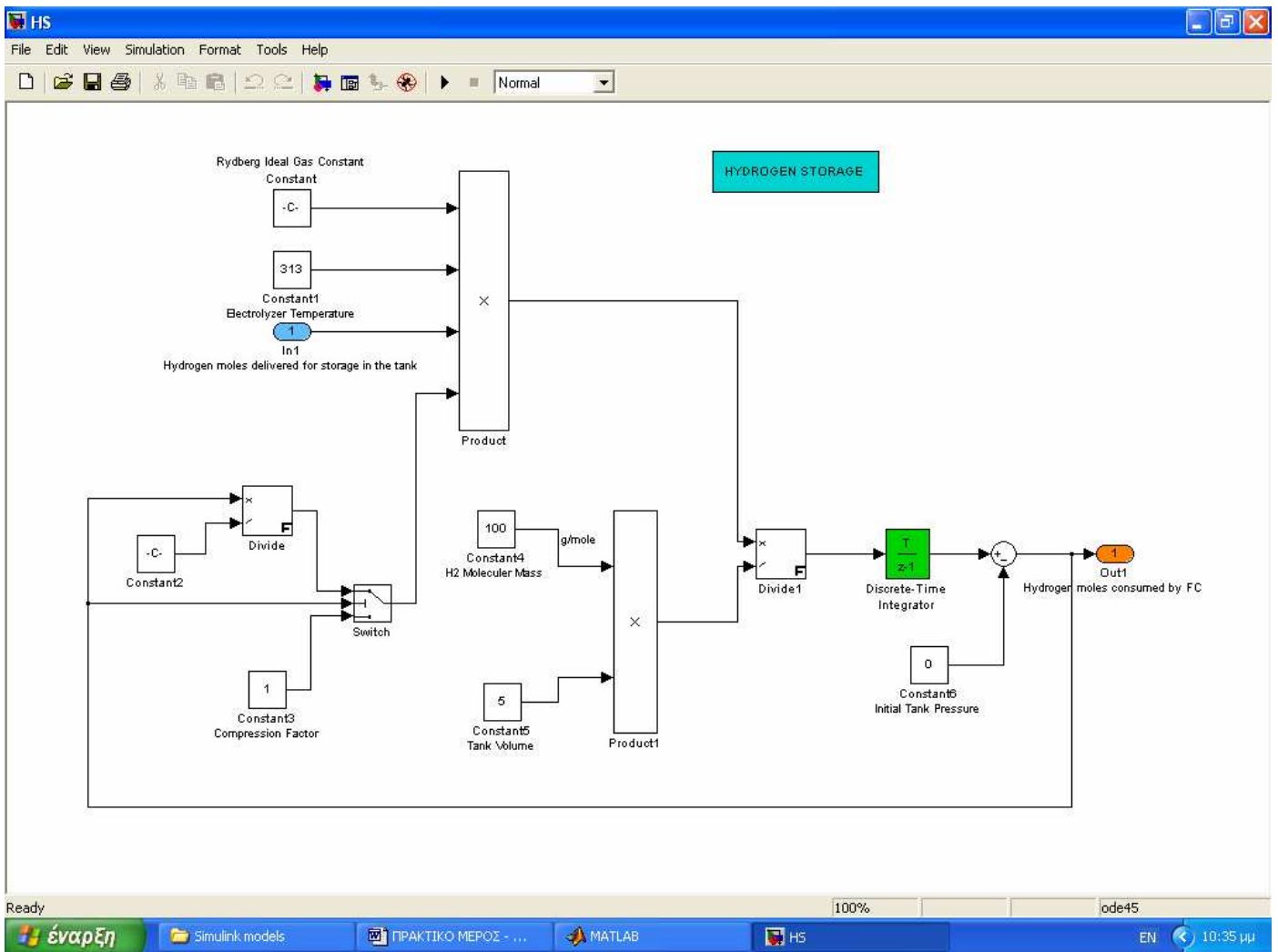
Το παραγόμενο οξυγόνο που αποθηκεύεται στην δεξαμενή μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη σχέση:

$$P_b \simeq P_{bi} = Z \frac{N_{H_2} R T_b}{M_{H_2} V_b}$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το μαθηματικό πρότυπο του Hydrogen Storage είναι οι εξής:

M_{H_2}	molar mass of hydrogen [kg kmol ⁻¹]
N_{H_2}	hydrogen moles per second delivered to the storage tank [kmol s ⁻¹]
P_b	pressure of tank [Pa]
P_{bi}	initial pressure of the storage tank [Pa]
R	universal (Rydberg) gas constant [J (kmol °K) ⁻¹]
T_b	operating temperature [°K]
V_b	volume of the tank [m ³]
z	compressibility factor as a function of pressure

Βάσει των παραπάνω σχέσεων και παραμέτρων υλοποιούμε το Hydrogen Storage σε περιβάλλον MATLAB Simulink.



Σχ.6.3 Σχεδιασμός Hydrogen Storage

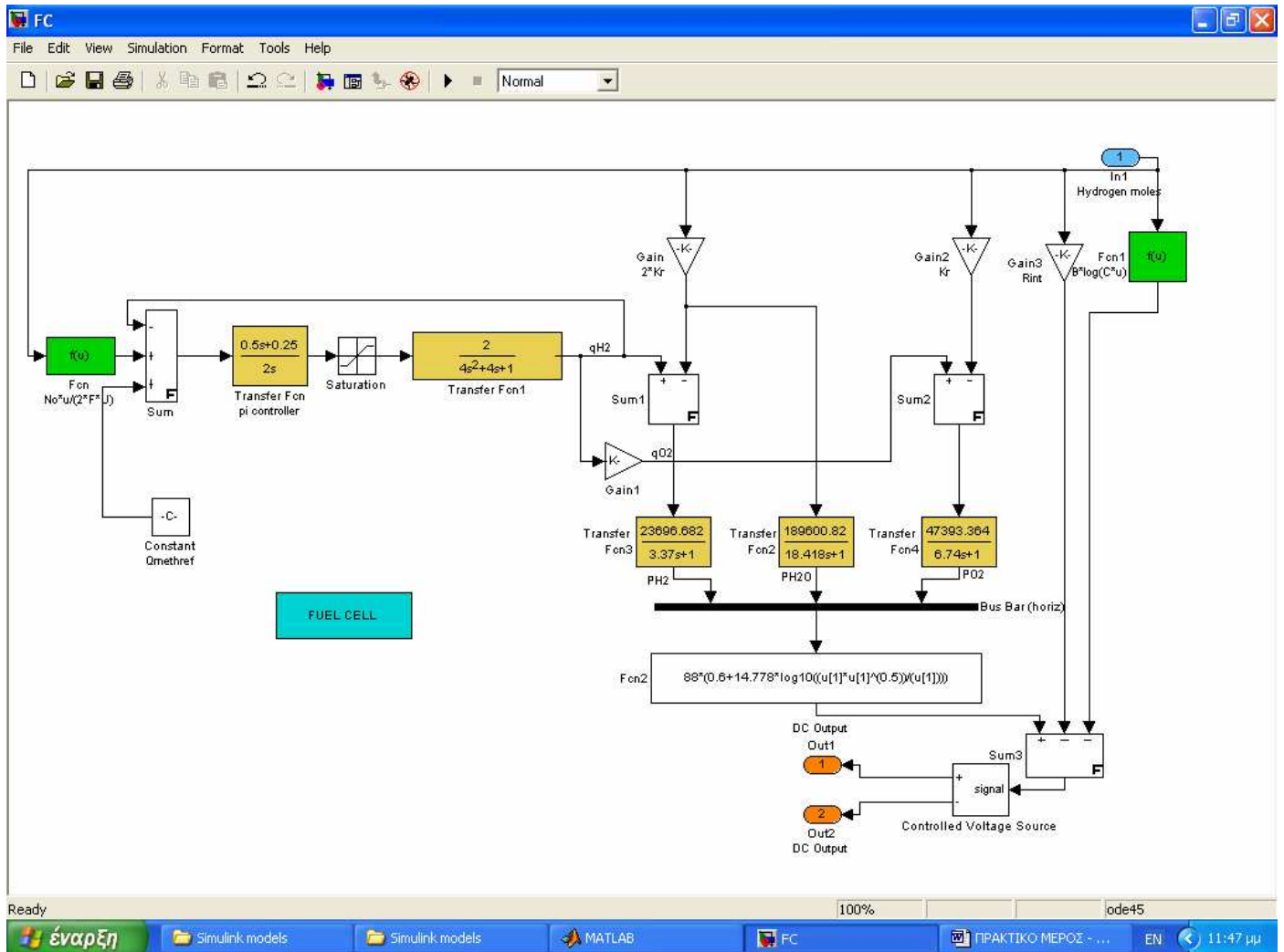
Σχεδιασμός και δυναμικό μοντέλο του Fuel Cell

Αυτό το μοντέλο πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την σχέση μεταξύ τάσης εξόδου και μερικής πίεσης υδρογόνου, οξυγόνου και νερού.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το μαθηματικό πρότυπο του Fuel Cell είναι οι εξής:

B, C	constants to simulate the activation over voltage in PEMFC system [A^{-1}] and [V]
E	Nernst instantaneous voltage [V]
E_0	standard no load voltage [V]
F	Faraday's constant [$C \text{ kmol}^{-1}$]
I_{FC}	FC system current [A]
K_{an}	anode valve constant [$K \text{ mol kg (atm s)}^{-1}$]
K_{H_2}	hydrogen valve molar constant [kmol (atm s)^{-1}]
K_{H_2O}	water valve molar constant [kmol (atm s)^{-1}]
K_{O_2}	oxygen valve molar constant [kmol (atm s)^{-1}]
K_r	modeling constant [kmol (s A)^{-1}]
M_{H_2}	molar mass of hydrogen [kg kmol^{-1}]
N_0	number of series fuel cells in the stack
P_{H_2}	hydrogen partial pressure [atm]
P_{H_2O}	water partial pressure [atm]
P_{O_2}	oxygen partial pressure [atm]
q_{O_2}	input molar flow of oxygen [kmol s^{-1}]
$q_{H_2}^{in}$	hydrogen input flow [kmol s^{-1}]
$q_{H_2}^{out}$	hydrogen output flow [kmol s^{-1}]
$q_{H_2}^r$	hydrogen flow that reacts [kmol s^{-1}]
$q_{H_2}^{req}$	amount of hydrogen flow required to meet the change (kmol s^{-1})
R	universal gas constant [$(1 \text{ atm}) (\text{kmol K})^{-1}$]
R^{int}	FC internal resistance [Ω]
R_{H-O}	the hydrogen–oxygen flow ratio
T	absolute temperature [K]
U	utilization rate
V_{an}	volume of the anode [m^3]
V_{cell}	dc output voltage of FC system [V]
τ_{H_2}	hydrogen time constant [s]
τ_{O_2}	oxygen time constant [s]
τ_{H_2O}	water time constant [s]
η_{act}	activation over voltage [V]
η_{ohmic}	Ohmic over voltage [V]

Βάσει των παραπάνω παραμέτρων υλοποιούμε το Fuel Cell σε περιβάλλον MATLAB Simulink.

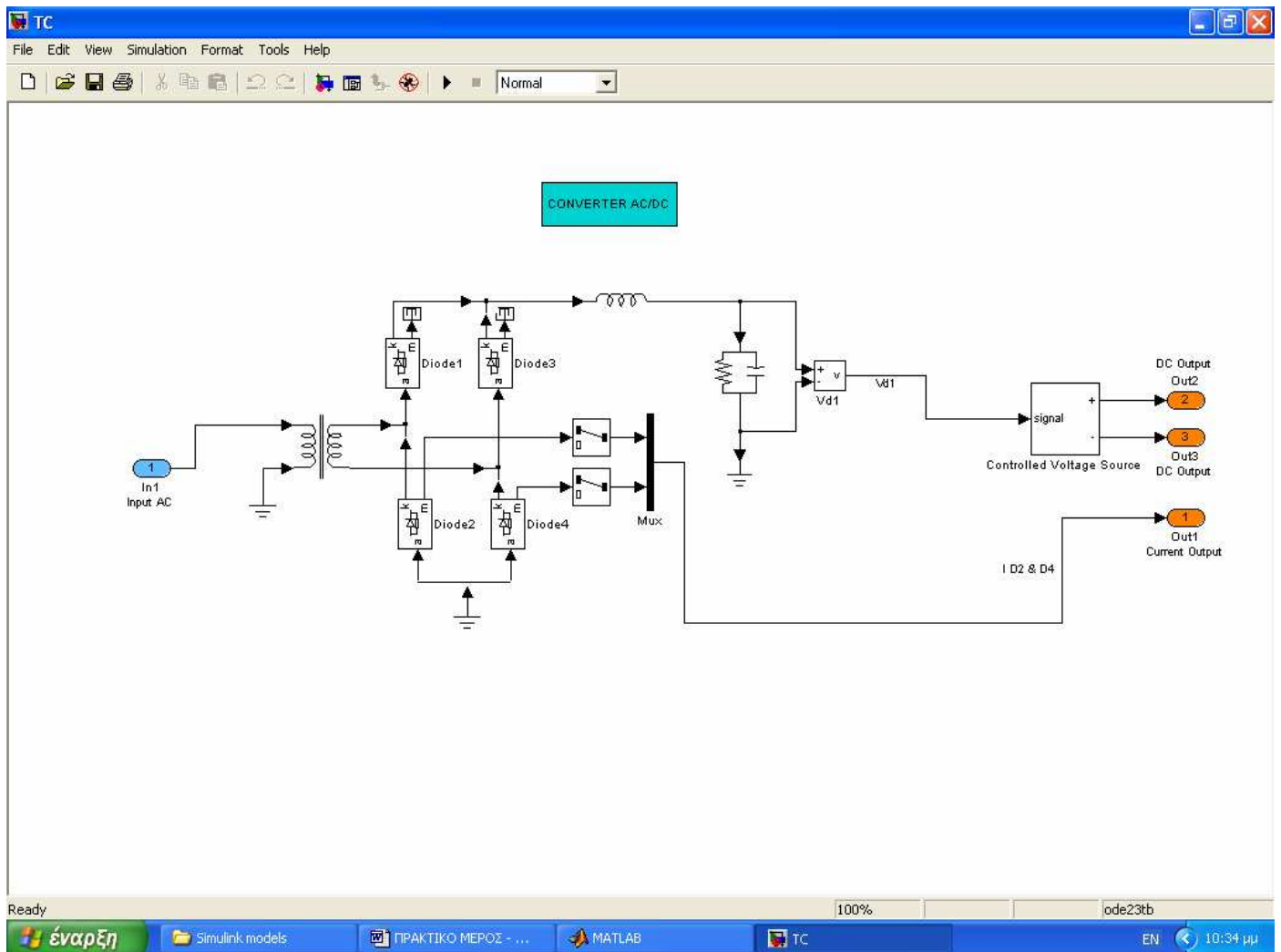


Σχ.6.4 Σχεδιασμός Fuel Cell

Όσον αφορά τους μετατροπείς τάσης δηλαδή τον AC/DC Converter που βρίσκεται στην έξοδο της ανεμογεννήτριας και τον DC/AC Converter που βρίσκεται στην έξοδο του Fuel Cell, τους προμηθεύσαμε από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος MATLAB Simulink. Με τις απαραίτητες αλλαγές και ρυθμίσεις των στοιχείων τους δημιουργούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την σωστή λειτουργία του συστήματος.

Παρακάτω εμφανίζεται ο AC/DC Converter.

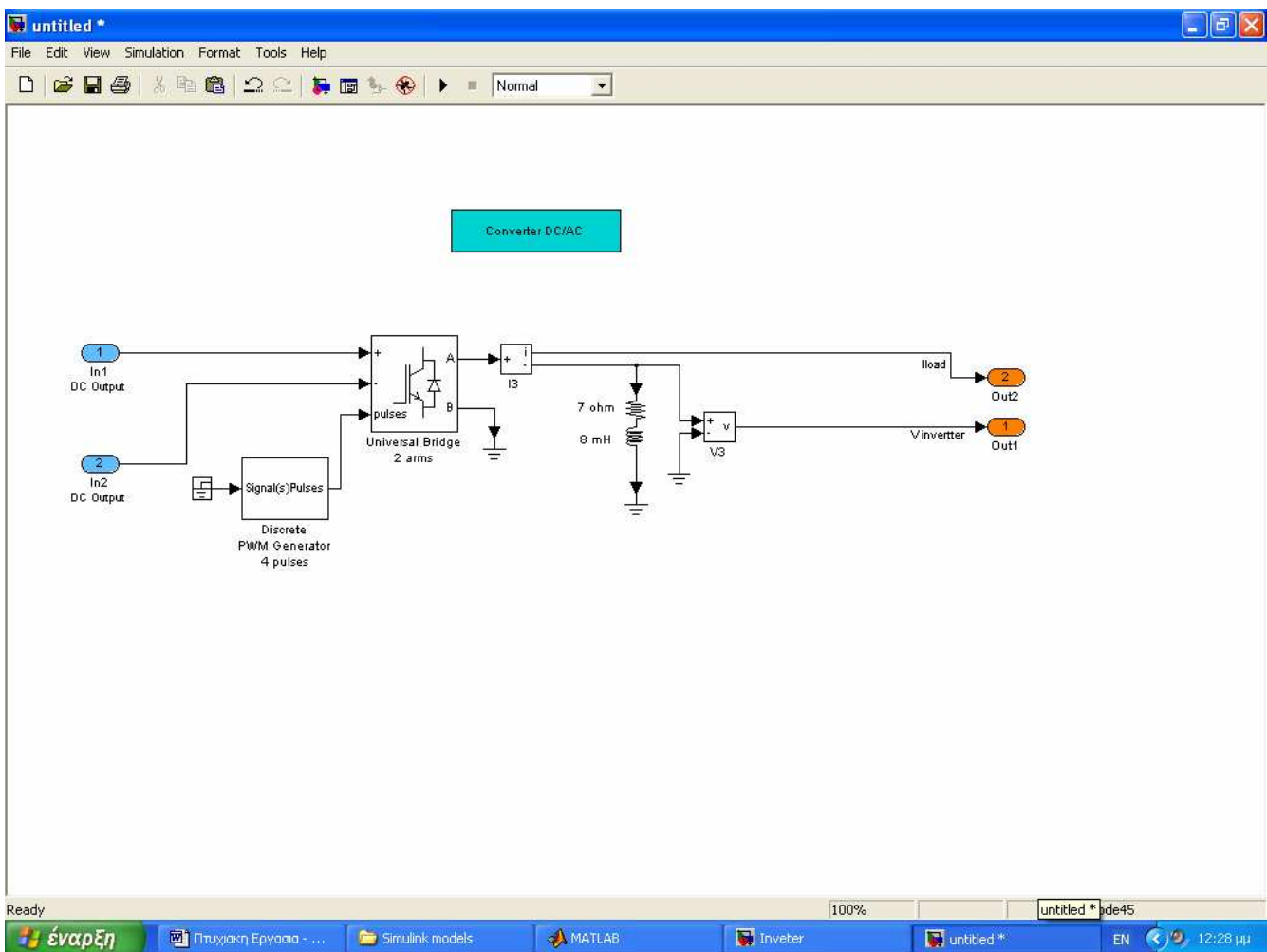
Σχεδιασμός και δυναμικό μοντέλο του Converter AC/DC



Σχ.6.5 Σχεδιασμός Converter AC/DC

Σχεδιασμός και δυναμικό μοντέλο του Converter DC/AC

Και ο αντίστοιχος DC/AC Converter είναι:

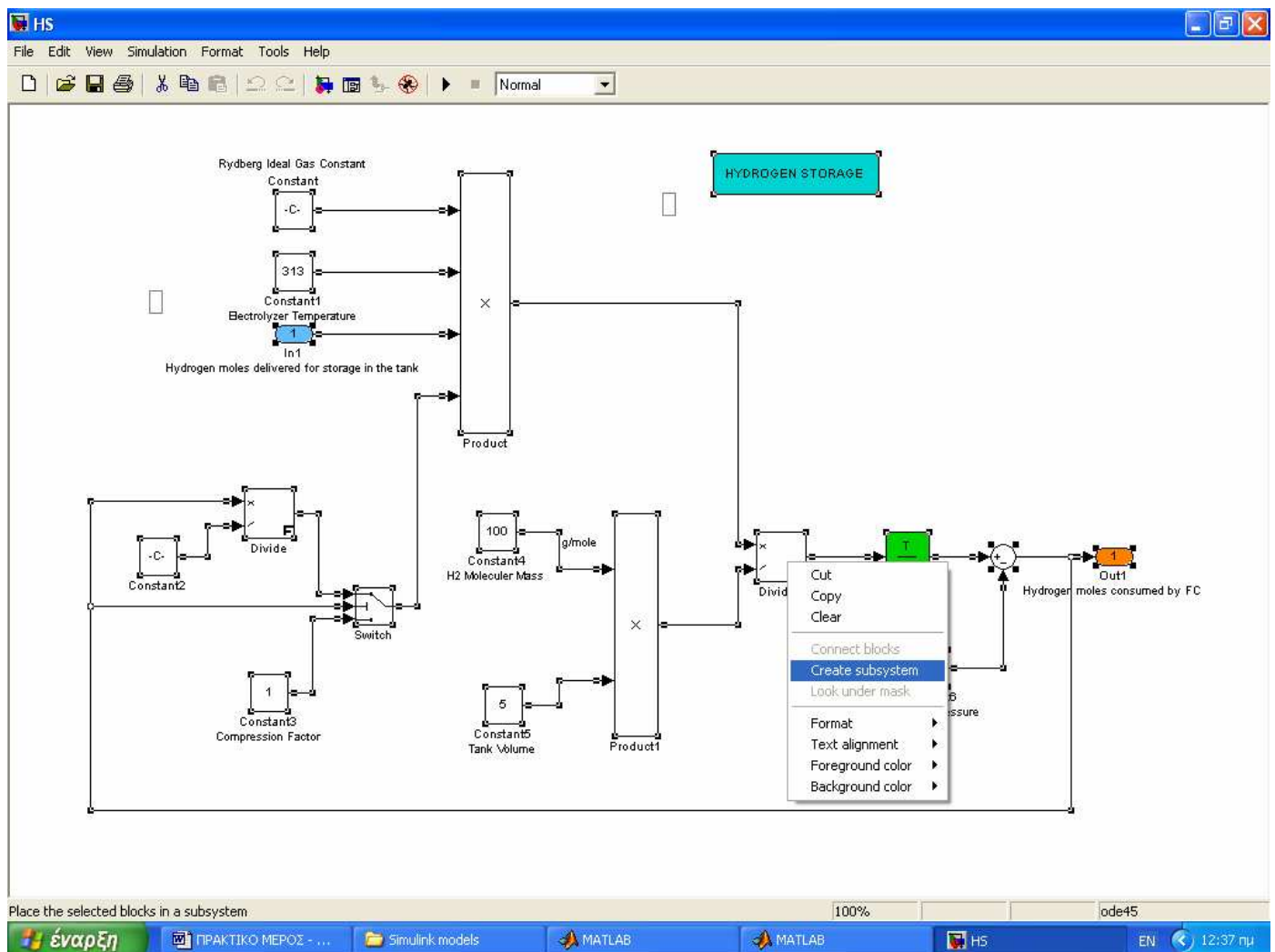


Σχ.6.6 Σχεδιασμός Converter DC/AC

Σχεδιασμός συνολικού συστήματος

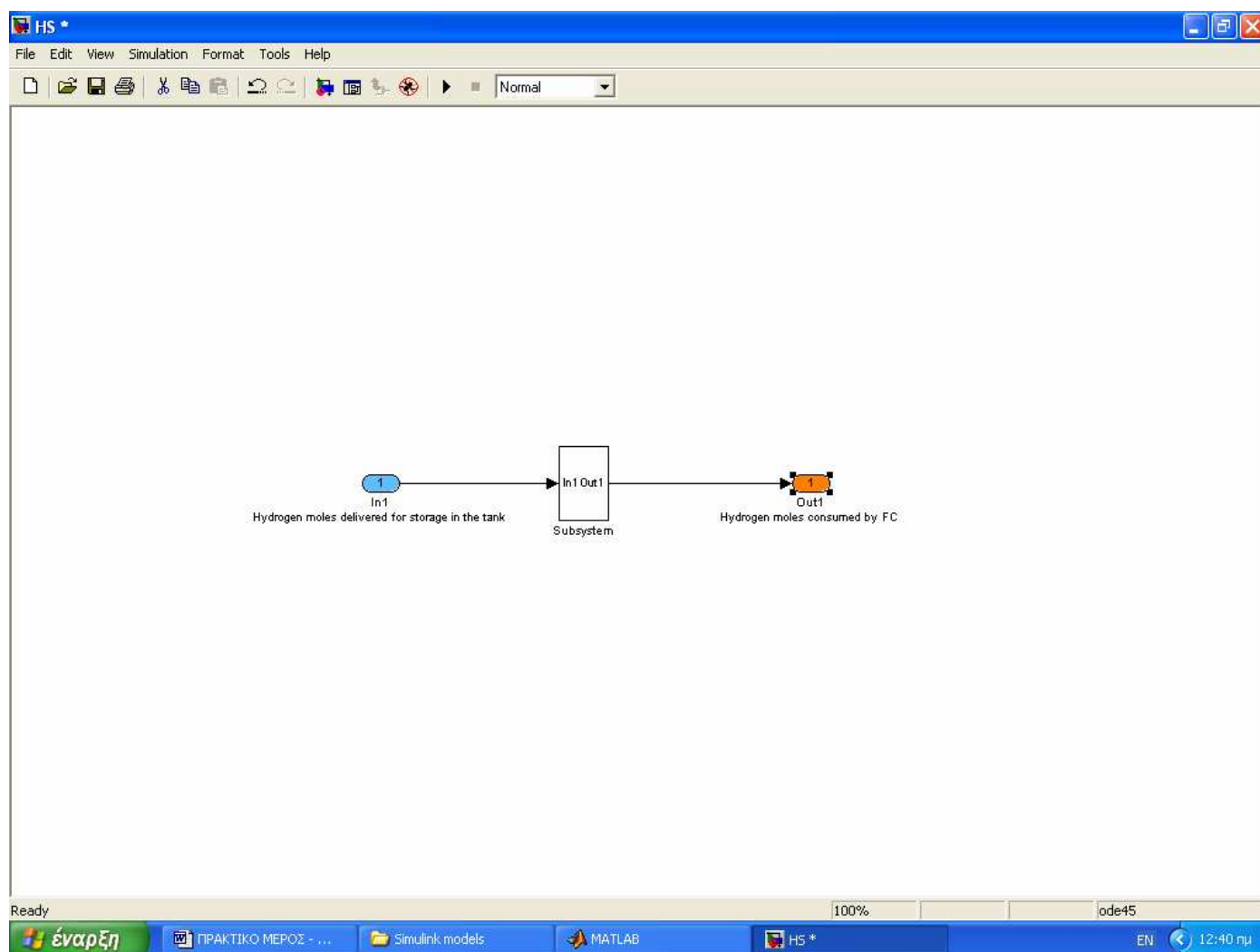
Δημιουργούμε το subsystem του κάθε μοντέλου έτσι ώστε να ενωθούν και να δημιουργήσουν το ολοκληρωμένο σύστημα.

Το πώς δημιουργούμε ένα subsystem φαίνεται στη παρακάτω εικόνα:



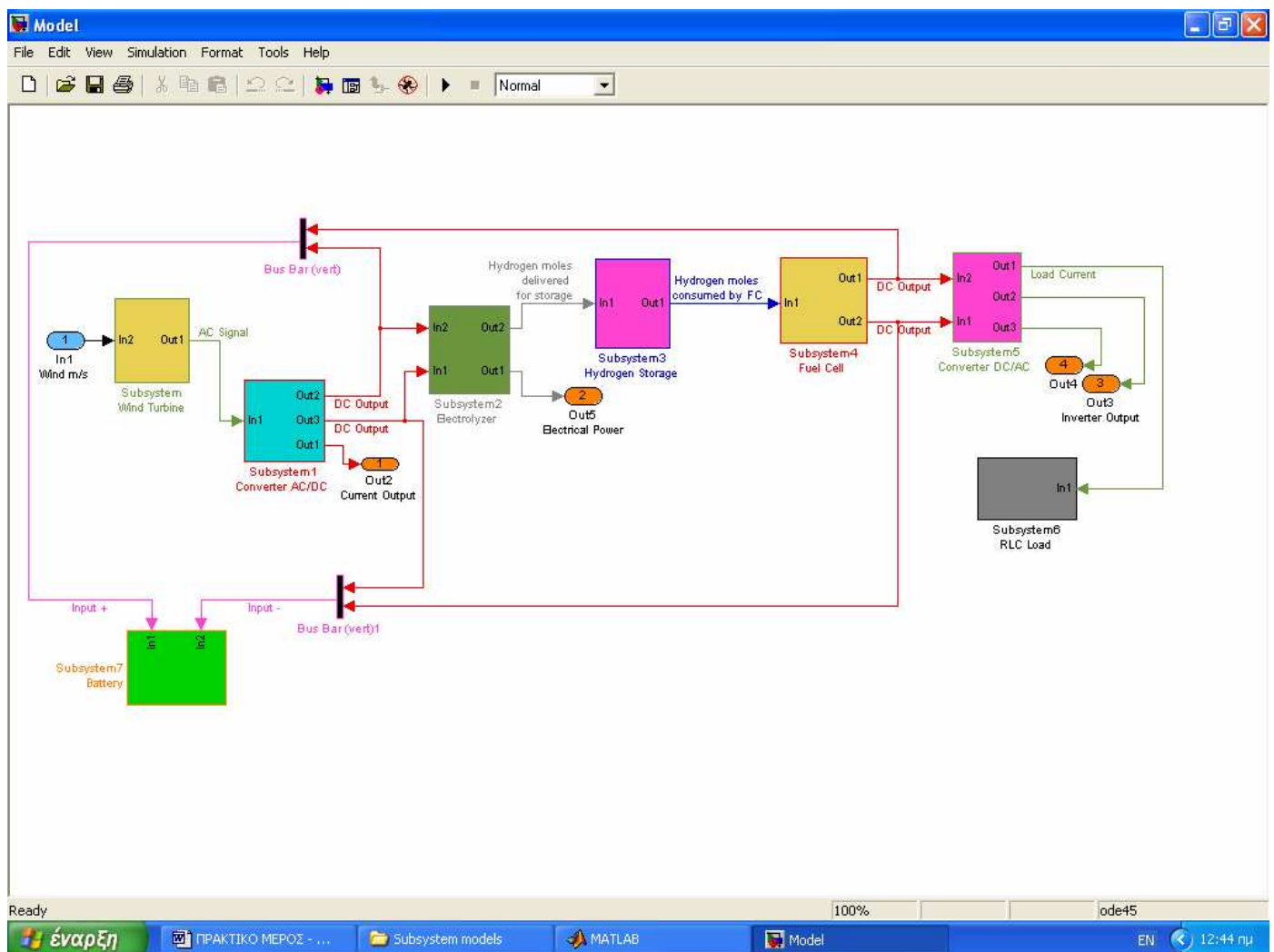
Σχ.6.7 Δημιουργία Subsystem

Η τελική μορφή του subsystem είναι η εξής:



Σχ.6.8 Τελική μορφή Subsystem

Η εικόνα του συνολικού συστήματος μετά την επιμέρους δημιουργία των subsystem όλων των μοντέλων είναι η εξής:

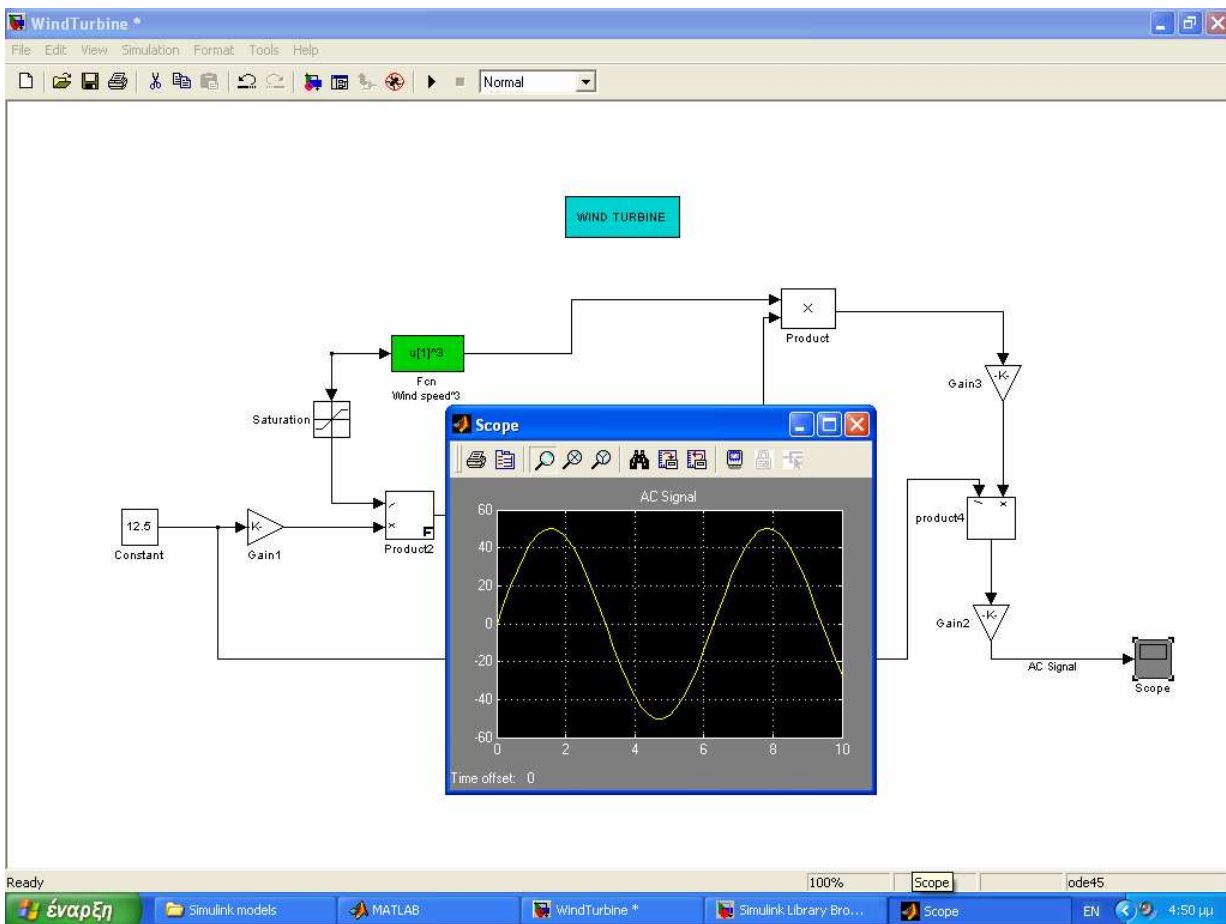


Σχ.6.9 Σχεδιασμός με Subsystem του μοντέλου

Το επόμενο στάδιο είναι να δούμε τι έξοδο έχουμε στο κάθε υποσύστημα για μια συγκεκριμένη είσοδο. Όποτε θα πάμε σε κάθε μοντέλο χωριστά και θα τρέξουμε το πρόγραμμα.

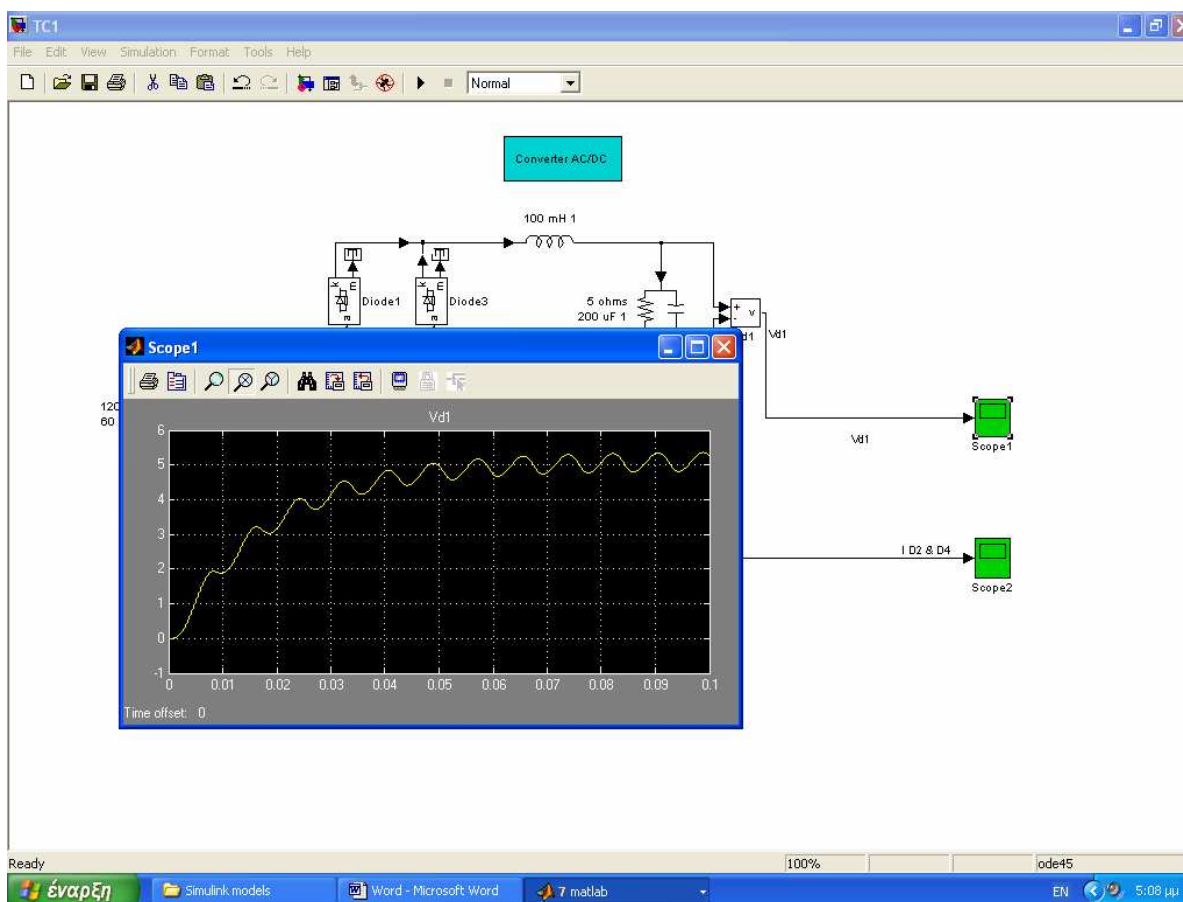
ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ

Αρα για ταχύτητα ανέμου 12,5m/sec θα έχουμε στην έξοδο σήμα εναλλασσόμενο το οποίο εμφανίζεται παρακάτω:

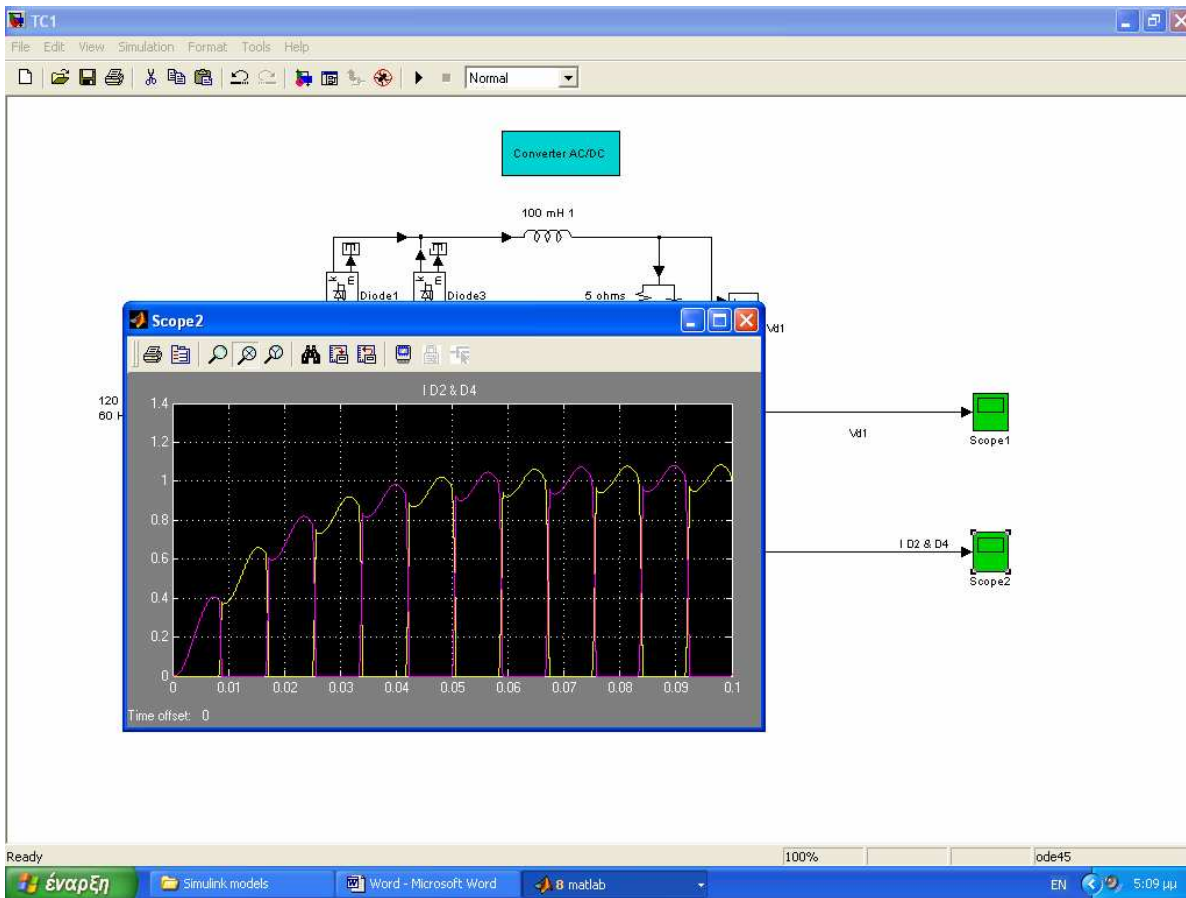


Σχ.6.10 Γραφική παράσταση Wind Turbine

Αν αυτό το σήμα περάσει από τον AC/DC Converter τότε στην έξοδο θα έχουμε συνεχές σήμα του οποίου οι γραφικές παραστάσεις τάσεως και ρεύματος θα είναι οι εξής:

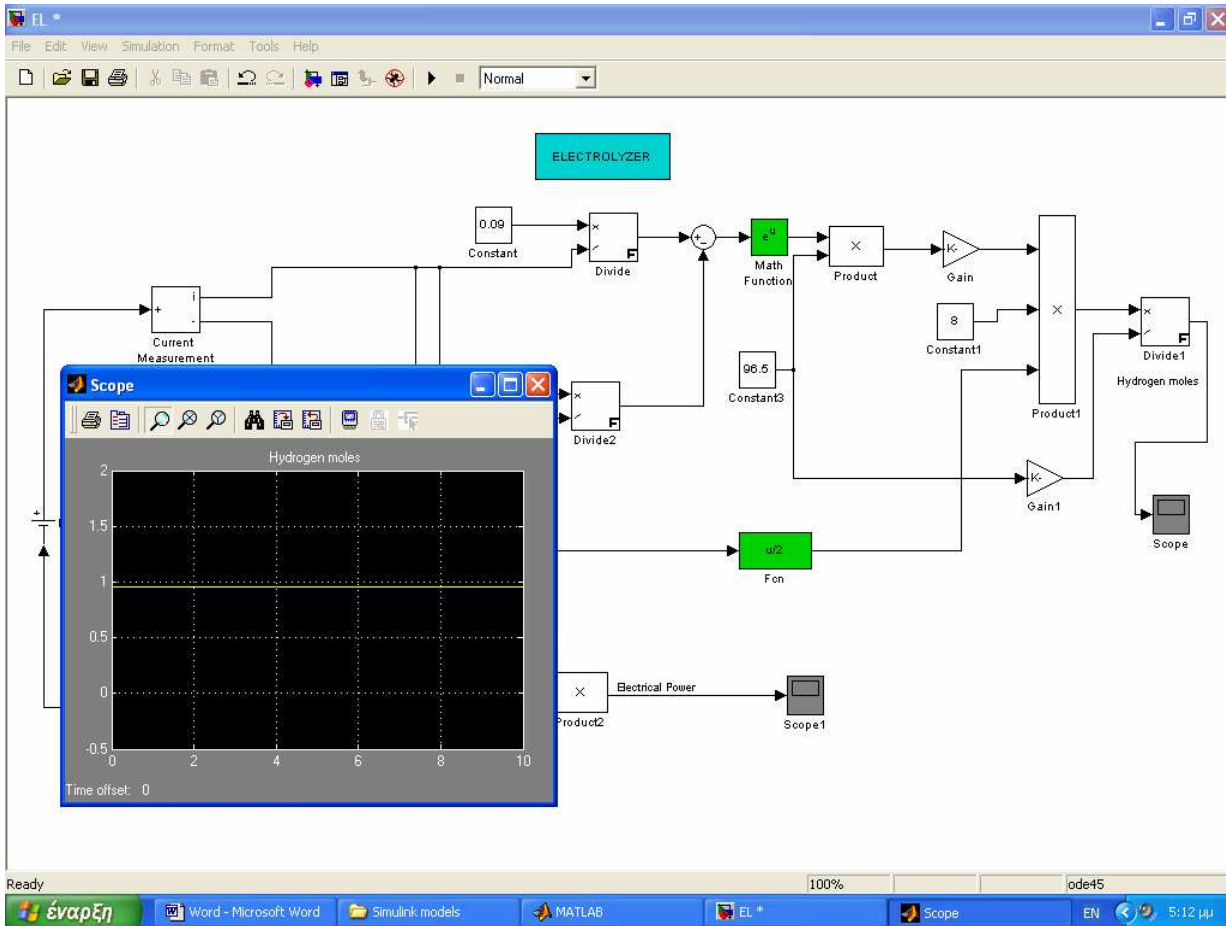


Σχ.6.11 Γραφική παράσταση Converter AC/DC



Σχ.6.12 Γραφική παράσταση Converter AC/DC

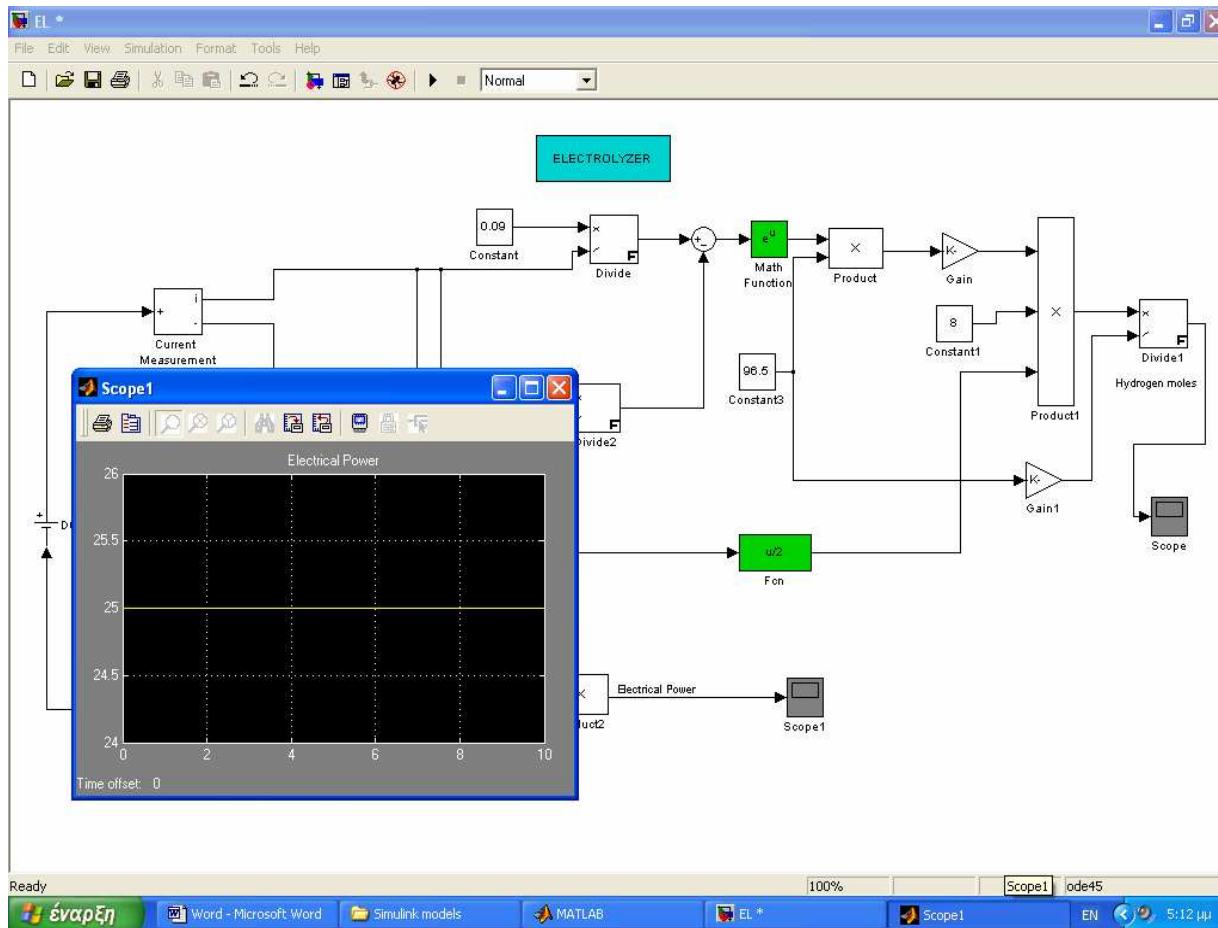
Στη συνέχεια αυτό το σήμα πηγαίνει στην είσοδο του Electrolyzer με αποτέλεσμα στην έξοδό του να έχουμε:



Σχ.6.13 Γραφική παράσταση Electrolyzer

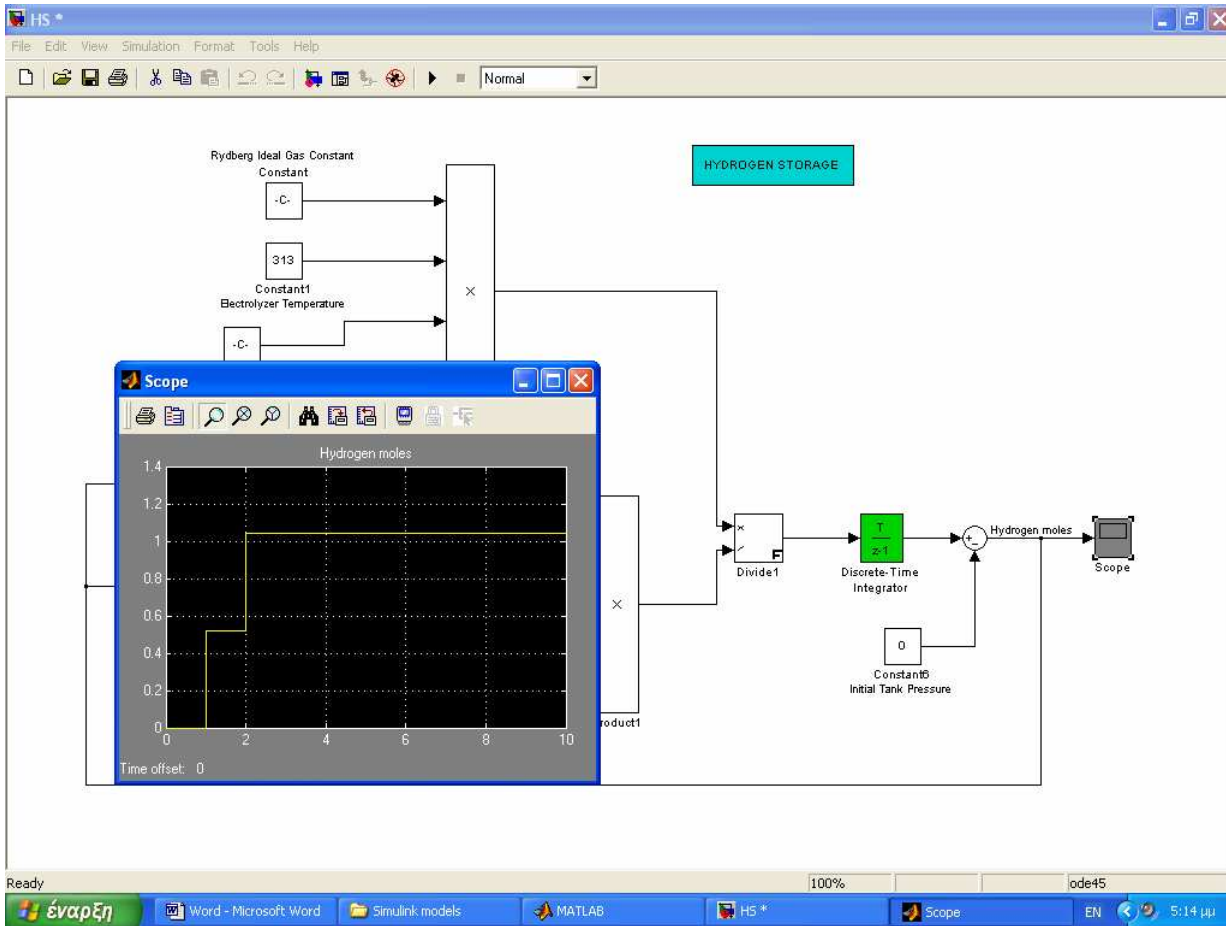
Αυτό είναι το υδρογόνο που παράγει ο Electrolyzer δηλαδή 0,995 mol/sec υδρογόνου.

Η αντίστοιχη ισχύς στην έξοδο του είναι:



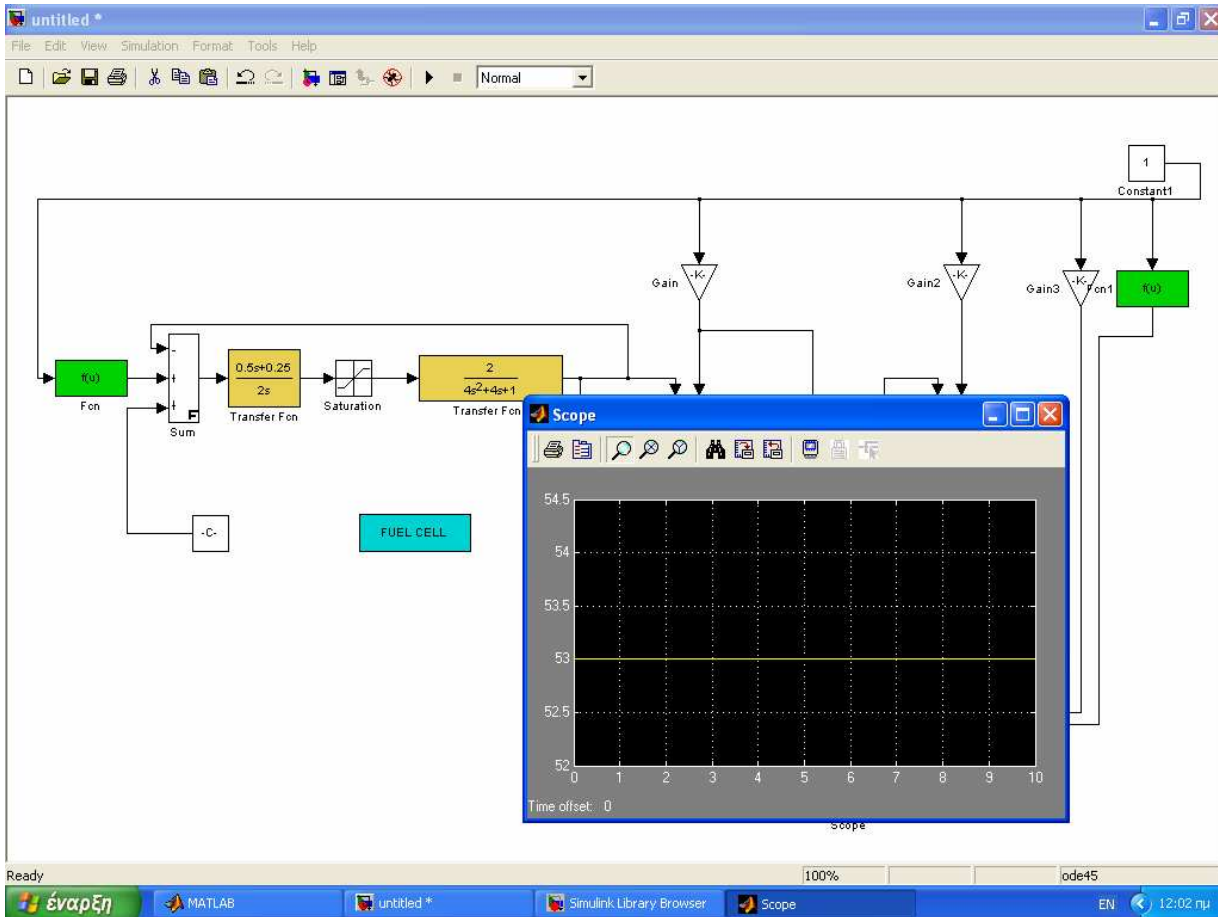
Σχ.6.14 Γραφική παράσταση Electrolyzer

Η δεξαμενή απόθεσης υδρογόνου έχει ως είσοδο την έξοδο του Electrolyzer δηλαδή και στην έξοδο του Hydrogen storage θα έχουμε και πάλι μόρια υδρογόνου ανά δευτερόλεπτο.



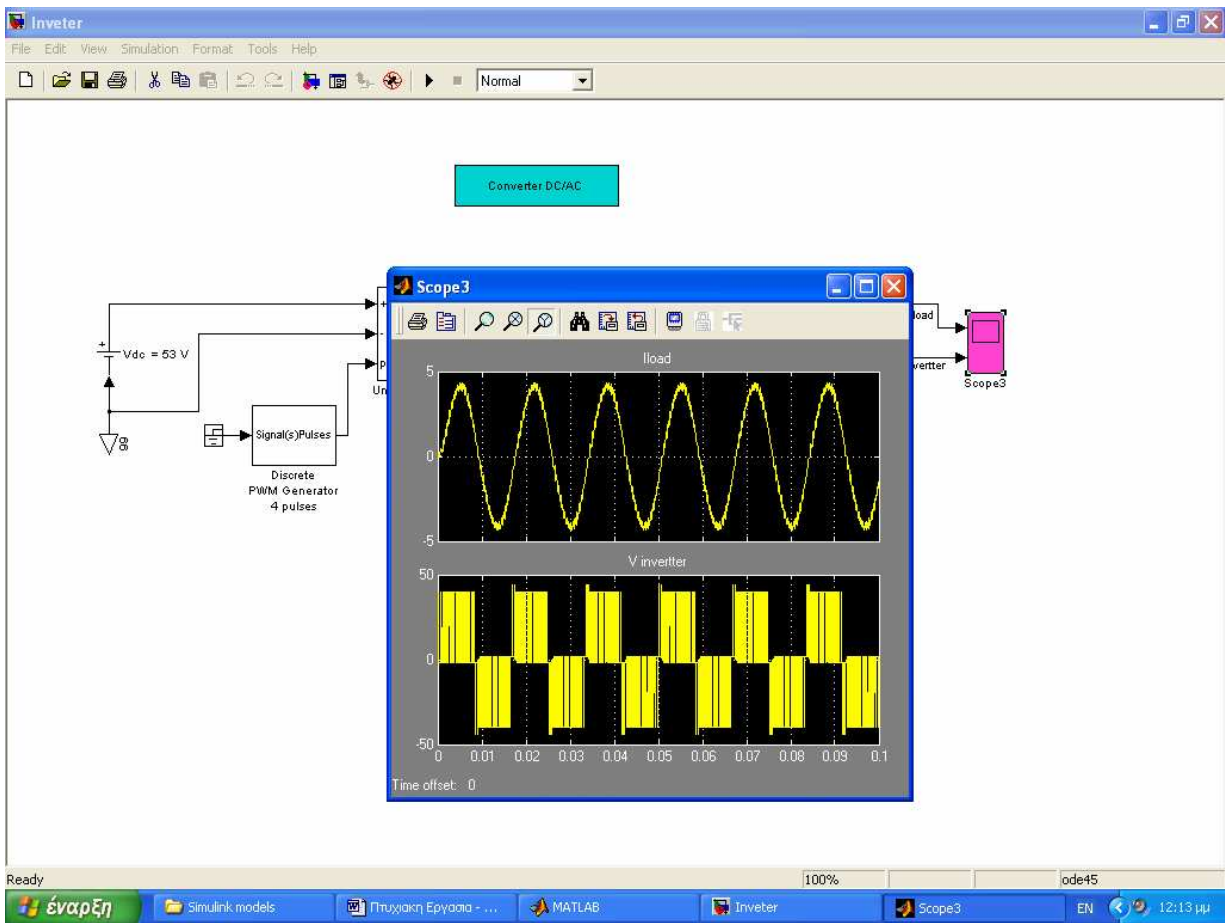
Σχ.6.15 Γραφική παράσταση Hydrogen Storage

Αυτή η ποσότητα υδρογόνου είναι η είσοδος του Fuel Cell και περιμένουμε να έχουμε συνεχές σήμα στην έξοδο (αφού είναι ένας χημικός μετατροπέας που χρησιμοποιεί υδρογόνο για καύσιμο και παράγει συνεχή τάση).



Σχ.6.16 Γραφική παράσταση Fuel Cell

Τέλος, το συνεχές αυτό σήμα από την έξοδο του Fuel Cell οδηγείται στο DC/AC Converter αφού στην τελική έξοδο θα έχουμε σύνθετο φορτίο.



Σχ.6.17 Γραφική παράσταση Converter DC/AC

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου συστήματος σε περιβάλλον Matlab Simulink. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 8 επιμέρους υποσυστήματα τα οποία με το κατάλληλο συνδυασμό θα έπρεπε να δώσουν μια εικόνα ενός συστήματος ικανού για πρακτική εφαρμογή. Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας και πολυπλοκότητας αυτού του μοντέλου συστήματος, καθώς ανήκει σε μια νέα τεχνολογία η οποία είναι ακόμα σε πειραματικό επίπεδο και λόγω της πολύπλευρης γνώσης που απαιτείται για την υλοποίησή του (θερμοδυναμικής, φυσικής, χημείας, μαθηματικών, μηχανολογίας, ηλεκτρονικής και άλλων επιστημών) έγινε μια απόπειρα για την απλοποίησή τους. Η λειτουργία κάθε υποσυστήματος ξεχωριστά ήταν παραπάνω από ικανοποιητική βάση της προσομοίωσης που παρουσιάστηκε και ολοκλήρωσε με επιτυχία το στόχο του. Ωστόσο, παρατηρήθηκε δυσκολία στην ένωση και στη λειτουργία του συνολικού συστήματος. Δηλαδή, ο συνδυασμός των υποσυστημάτων δεν μπόρεσε να ανταποκριθεί όπως ανταποκρίνονται μοντέλα συστημάτων αντίστοιχων επιστημονικών ερευνών. Κλείνοντας, αξίζει να σημειώσουμε ότι καθ' όλη την πολύμηνη ενασχόλησή μας με το συγκεκριμένο εγχείρημα, παρατηρήσαμε ότι τα άρθρα και οι μελέτες που έχουν γραφτεί σχετικά με αυτό, αναφέρονται αποκλειστικά στην ξεχωριστή λειτουργία κάθε υποσυστήματος και όχι στη συνολική θεώρηση και αξιοποίησή του.

Βιβλιογραφία

1. H. Gorgun, Dynamic modeling of a proton exchange membrane (PEM) electrolyzer, Int. J. Hydrogen Energy 31 (1) (2006) 29–38.
2. Uzunoglu, M.S. Alam, Dynamic modeling, design and simulation of a combined PEM fuel cell and ultra-capacitor system for stand alone applications, IEEE Trans. Energy Conversion, accepted for publication.
3. M. Uzunoglu, A. Kizil, O.C. Onar, Her Yonu ile MATLAB (Proficiency in MATLAB, second ed.), Turkmen Kitabevi, Istanbul, 2003.
4. <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf doc/simulink/sl using.pdf>.
5. MATLAB SimPowerSystems for Use with Simulink User's Guide, Version 4.1.1, <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf doc/>.
6. E.S. Abdin, W. Xu, Control design and dynamic performance analysis of a wind turbine-induction generator unit, IEEE Trans. Energy Conversion 15 (1) (2000) 91–96.
7. S. Heier, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons Ltd, New York, 1998.
8. T. Schucan, Case studies of integrated hydrogen energy systems, International Energy Agency Hydrogen Implementing Agreement, Final Report, Paul Scherrer Institute, Switzerland, 2000.
9. R.M. Nelms, D.R. Cahela, B.J. Tatarchuk, Modeling double-layer capacitor behavior using ladder circuits, IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. 39 (2) (2003) 430–438.

10. K.H. Hauer, Analysis tool for fuel cell vehicle hardware and software (controls) with an application to fuel cell economy comparisons of alternative system designs, Ph.D. Dissertation, Department of Transportation Technology and Policy, University of California Davis, 2001.
11. R.L. Spyker, R.M. Nelms, Analysis of double-layer capacitors supplying constant power loads, IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. 36 (4) (2000) 1439–1443.
12. R.L. Spyker, R.M. Nelms, Classical equivalent circuit parameters for a double-layer capacitor, IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. 36 (3) (2000) 829–836.
13. O. Ulleberg, Stand-alone power systems for the future: optimal design. Operation and Control of Solar-Hydrogen Energy Systems, PhD Dissertation, Norwegian University of Science and Technology, 1998.
14. Sapru, N.T. Stetson, S.R. Ovshinsky, Development of a small scale hydrogen production storage system for hydrogen applications, in: Proceedings of the 32nd Intersociety Conference, vol. 3, 1997, pp. 1947–1952.
15. Electric Double Layer Capacitor: BOOSTCAP[®] Ultracapacitor <http://www.maxwell.com/pdf/uc/datasheets/PC2500.pdf>.
16. The Energy Foundation Annual Report, The Energy Foundation, San Francisco, CA, 2001.
17. M.J. Khan, M.T. Iqbal, Dynamic modeling and simulation of a small wind-fuel cell hybrid energy system, J. Renewable Energy 30 (3) (2005) 421–439.
18. H. De Battista, R.J. Mantz, F. Garelli, Power conditioning for a wind-hydrogen energy system, J. Power Sources 155 (2) (2006) 478–486.