



Ηλεκτρονικά Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Project Εξαμήνου

Research Paper: #3
Milestone: 1

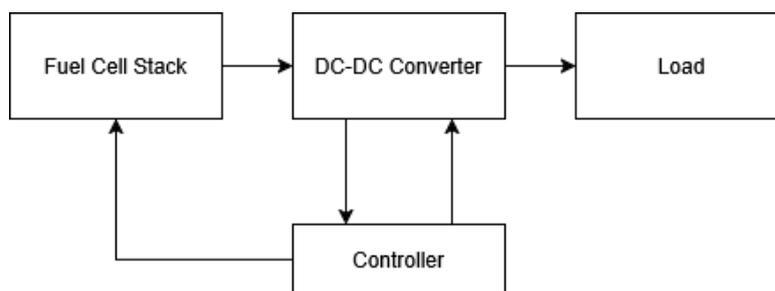
Μπελέσης Ιωάννης Παναγιώτης
AM: 2022030167
Οικονομίδης Κωνσταντίνος
AM: 2021030075

1) Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη εργασία βασίζεται στο ερευνητικό paper με τίτλο «A new control algorithm for increasing efficiency of PEM fuel cells – Based boost converter using PI controller with PSO method». Σκοπός είναι η εξερεύνηση της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας με πολλαπλά fuel cells (multi-stack) και έναν DC-DC Converter σε σχέση με τα «παραδοσιακά» single-stack συστήματα που απαιτούν πολλαπλούς converter και έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης.

1.1) Single-Stack Διάταξη

Πολλά single-stack συστήματα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος, όπως ελαφρά οχήματα ή εφεδρείες. Μία συνηθισμένη διάταξη ενός single-stack συστήματος φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 1: Διάταξη με ένα single-stack fuel cell

Παρόλο που τα single-stack συστήματα είναι απλά στην υλοποίηση έχει παρατηρηθεί πως έχουν χαμηλή αποδοτικότητα και ανθεκτικότητα, υψηλό κόστος και μη επιθυμητή αξιοπιστία, ειδικά σε εφαρμογές υψηλής ισχύος.

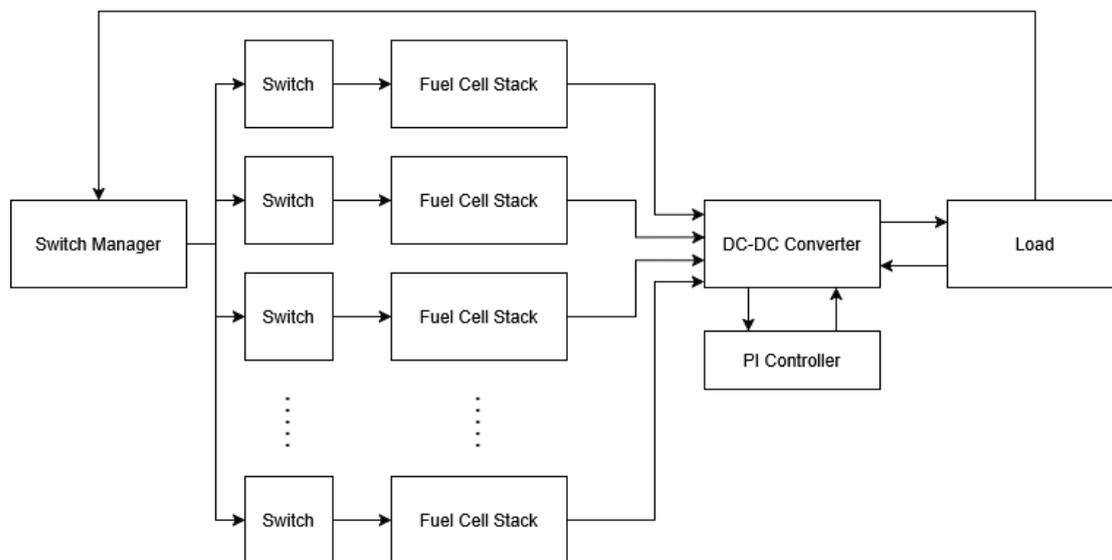
1.2) Multi-Stack Διάταξη

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται multi-stack συστήματα τα οποία λύνουν αρκετά από τα παραπάνω προβλήματα

και επιπλέον έχουν μεγαλύτερη ανοχή σφαλμάτων καθώς αν ένα fuel cell stack αποτύχει, τα υπόλοιπα μπορούν να καλύψουν την ζήτηση ισχύος.

Οι multi-stack διατάξεις μπορούν να πραγματοποιηθούν βάζοντας τα fuel cells σε σειρά ή παράλληλα. Οι σε σειρά διατάξεις έχουν αρκετά εμπόδια να αντιμετωπίσουν σχετικά με την ροή του αερίου και της θερμότητας, οπότε προτιμούνται συστήματα με παράλληλη διάταξη. Τέτοια συστήματα έχουν σταθερότητα και μπορούν εύκολα να επεκταθούν.

Η παράλληλη διάταξη που θα μελετηθεί σε αυτή την εργασία φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2: Multi-stack διάταξη fuel cell με έναν converter

Τα βέλη στο διάγραμμα αναπαριστούν την ανταλλαγή πληροφορίας από το ένα στοιχείο στο άλλο. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε πολλαπλά fuel cell stacks (units) τα οποία συνδέονται παράλληλα σε έναν DC-DC converter. Ο converter χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση της τάσης και του ρεύματος και συνδέεται απευθείας με το φορτίο. Καθώς θέλουμε το πλήθος των fuel cell stacks που είναι διαθέσιμα να είναι μεταβλητό, είναι απαραίτητη η χρήση ενός ελεγκτή για την ρύθμιση του duty-cycle του converter ώστε να διατηρείται σταθερή η τάση εξόδου. Ένας απλός PI controller παρατηρεί την έξοδο του converter για τυχών αποκλίσεις και κάνει αυτόματη διόρθωση της ρύθμισης του converter.

Επιπλέον, επειδή θέλουμε να έχουμε μεταβλητό φορτίο, έχουμε switches/regulators που ελέγχουν την λειτουργία ενός fuel cell stack και έναν Switch Manager/ Controller για τον συντονισμό των πολλαπλών switches. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να παρέχουμε την ισχύ που χρειάζεται το φορτίο ανοίγοντας ή κλείνοντας μεμονωμένα τα fuel cell stacks. Είναι ξεκάθαρο πως χρειάζεται ο switch manager να γνωρίζει τις απαιτήσεις του φορτίου και αυτό επιτυγχάνεται με την μέτρηση της τάσης και του ρεύματος του φορτίου και τον υπολογισμό της ζητούμενης ισχύος.

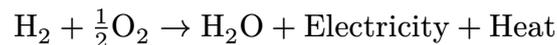
Με την παραπάνω διάταξη, γίνεται χρήση ενός multi-stack συστήματος με μόνο έναν converter άρα μειώνοντας αρκετά το κόστος εγκατάστασης.

Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση του μοντέλου κάθε στοιχείου στην διάταξη (fuel cell stack, DC-DC converter, load, PI controller, switch manager) με σκοπό την προσομοίωση της μέσω του MatLab Simulink.

2) Στοιχεία Διάταξης

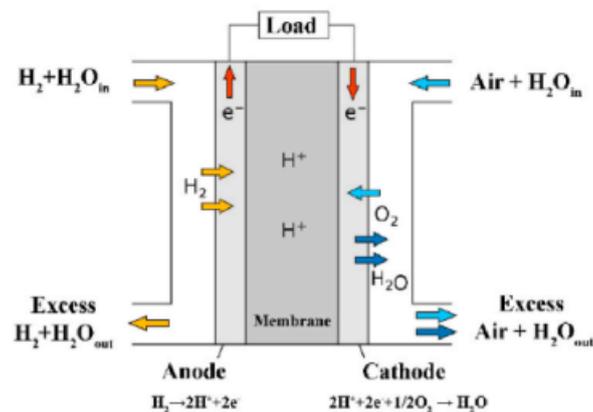
2.1) PEM Fuel Cell model

Ένα PEM Fuel Cell είναι μια μονάδα που παράγει ηλεκτρισμό μέσω του υδρογόνου, σύμφωνα με την χημική σχέση:



Αποτελείται από την **άνοδο**, όπου το υδρογόνο εισέρχεται και διαχωρίζεται σε ηλεκτρόνια και πρωτόνια, την **μεμβράνη PEM**, που επιτρέπει στα πρωτόνια να περάσουν από μέσα της για να πάνε στην κάθοδο, το **κύκλωμα**, που αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να ακολουθήσουν μια άλλη διαδρομή, δημιουργώντας έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα και την **κάθοδο**, που τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο του αέρα ενώνονται και σχηματίζουν το νερό (H_2O) που βγαίνει.

Ακολουθεί το σχηματικό διάγραμμα ενός PEMFC, όπως δίνεται από το paper:



Εικόνα 3: Σχηματικό διάγραμμα PEM Fuel Cell

2.2) DC-DC Converter

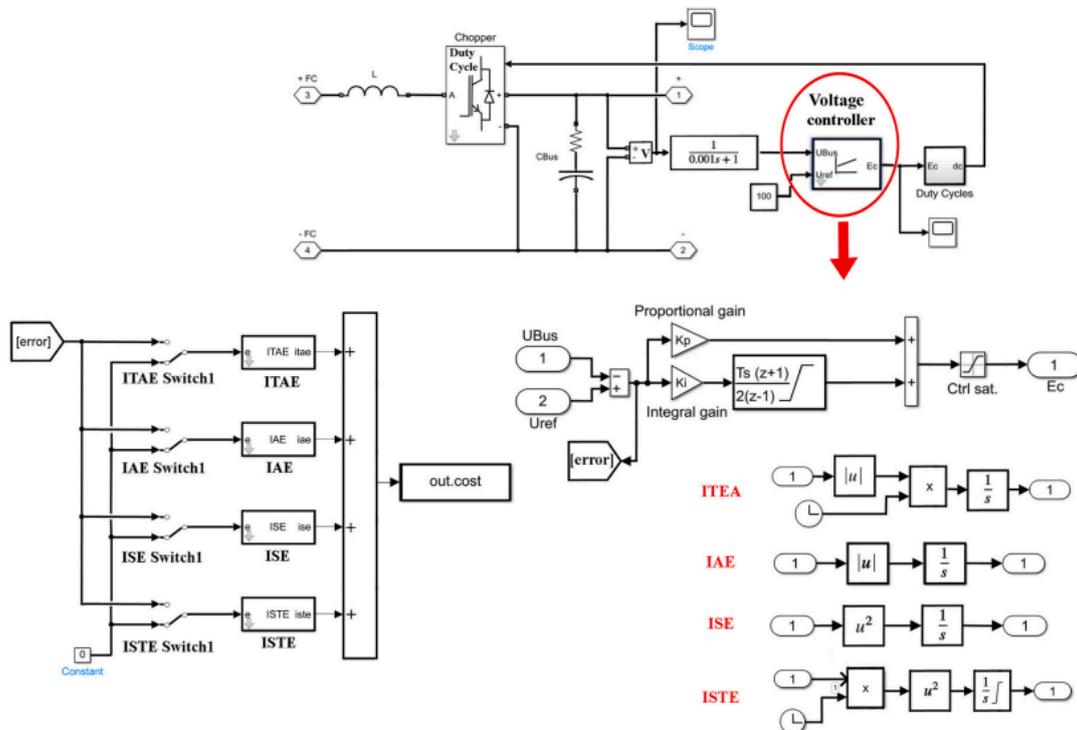
Ο DC-DC converter χρησιμοποιείται για αυξηθεί η χαμηλή τάση που παράγουν τα PEMFCs και να μειώσει το ρεύμα από την πηγή στο φορτίο. Επίσης ο converter εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της τάσης και ελέγχει την κατανομή του ρεύματος στα παράλληλα cells για να αποφευχθεί οποιαδήποτε καταπόνηση.

Η ιδιότητα που εκμεταλλευόμαστε και επιτρέπει τα παραπάνω, είναι η αποθήκευση ενέργειας στο μαγνητικό πεδίο, όταν ο διακόπτης (IGBT) κλείνει, και η έκλυση της προς το φορτίο όταν ο διακόπτης ανοίξει.

Για να έχουμε σταθερή τάση ανεξάρτητα από τον αριθμό των fuel cell stack που είναι συνδεδεμένα, το duty cycle του converter ελέγχεται από έναν εξωτερικό controller όπως αναλύεται παρακάτω. Όταν έχουμε λιγότερα fuel cells διαθέσιμα, τότε πρέπει να μειωθεί η συχνότητα με την οποία ο converter ανοιγοκλείνει. Στην αντίθετη περίπτωση που έχουμε περισσότερα fuel cells διαθέσιμα, η συχνότητα του

converter πρέπει να αυξηθεί ώστε να μην ξεπεραστεί η τάση λειτουργίας που έχουμε ορίσει.

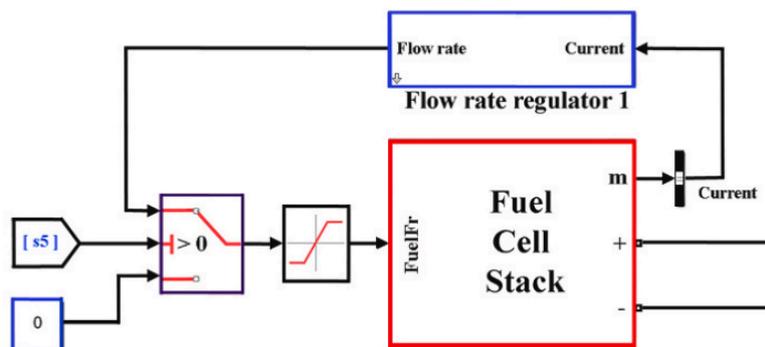
Ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση όπως φαίνεται στο paper:



Εικόνα 4: Σχηματικό διάγραμμα dc-dc converter

2.3) Fuel Cell Switch

Ένα fuel cell switch είναι πρακτικά ένας ελεγκτής που ρυθμίζει την λειτουργία του fuel cell. Συγκεκριμένα, ένα switch ελέγχει την ροή υδρογόνου και οξυγόνου προς το fuel cell stack. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με βάση μία εξωτερική τιμή που παρέχεται από τον switch manager η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως on/off.

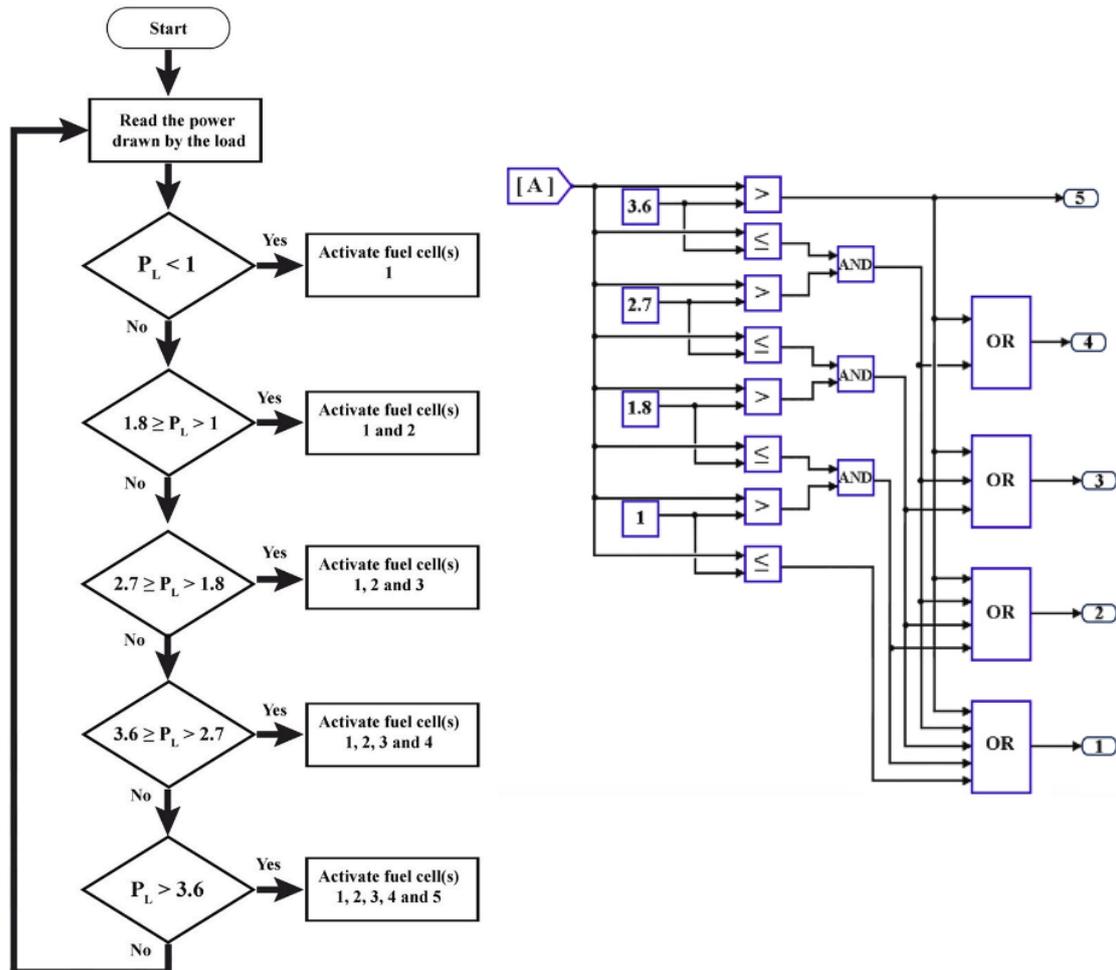


Εικόνα 5: Fuel Cell with switch

Ο flow rate regulator είναι απαραίτητος για να μπορέσει να διατηρηθεί η διαδικασία της χημικής αντίδρασης που πραγματοποιείται εσωτερικά στο fuel cell stack.

2.4) Switch Manager/Controller

Ο σκοπός του switch manager είναι αρκετά απλός, παρατηρώντας την ζητούμενη ισχύ του φορτίου υπολογίζει τον αριθμό των fuel cell stack που χρειάζονται για να την παρέχουν και ενεργοποιεί/απενεργοποιεί αναλόγως τα fuel cell stack που διαχειρίζεται. Παρακάτω φαίνεται η λογική με την οποία ενεργοποιούνται τα fuel cells και το block diagram για την υλοποίηση αυτής της λογικής.



Εικόνα 6: Switch manager activity diagram (αριστερά)
Switch manager control block diagram (δεξιά)

2.5) PI Controller

Ο PI Controller, παίρνει ως είσοδο την διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της επιθυμητής τάσης από την έξοδο του converter, έτσι ώστε να διορθώσει οποιαδήποτε σφάλματα. Ο Controller επεμβαίνει με απόκριση ανάλογη του μεγέθους του σφάλματος (P) και εξαλείφει το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, δουλειά του controller είναι να ελέγχει την τάση να μην αυξομειώνεται απότομα όταν το φορτίο αλλάζει και να κρατούνται σε σωστά επίπεδα ($< 2\%$) τα όρια διακύμανσης. Οι παράμετροι του ελεγκτή ορίζονται με βάση τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης PSO.

2.6) PSO Optimization

Για την σωστή λειτουργία του συστήματος απαιτείται παραμετροποίηση του PI Controller. Η διαδικασία της παραμετροποίησης χρειάζεται αρκετή ώρα αν γίνει χειροκίνητα και είναι δύσκολο αν επιτευχθούν βέλτιστες τιμές. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων K_p και K_I του ελεγκτή. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αυτοματοποιήσουμε την διαδικασία της παραμετροποίησης του ελεγκτή και ταυτόχρονα να βρούμε τις βέλτιστες τιμές ώστε να έχουμε σταθερή τάση στην έξοδο του.

2.7) Φορτίο/Load

Το φορτίο, στο οποίο συνδέεται το σύστημα, μοντελοποιείται ως ένα ωμικό-επαγωγικό φορτίο μεταβλητής ισχύος. Η μεταβολή του φορτίου μοντελοποιεί την απρόβλεπτη φύση ενός τέτοιου φορτίου και γίνεται κατά την προσομοίωση του συστήματος για την δοκιμή της δυναμικής συμπεριφοράς του.

Στο paper λαμβάνονται υπόψη οι εξής τιμές:

1 kW, 2 kW, 3 kW, 4 kW, 4.5 kW, 5 kW, 6 kW

Περισσότερες τιμές μπορούν να δοκιμαστούν για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του συστήματος.

3) Σχέδιο Υλοποίησης

Για την υλοποίηση του πρότζεκτ, θα ακολουθήσουμε το παρακάτω σχέδιο:

1. Μοντελοποίηση PEM Fuel Cell, μέσω του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφεται στις εξισώσεις (1) - (8) στο Simulink.
2. Σχεδίαση του DC-DC Converter στο Simulink με PI-Controller.
3. Υλοποίηση του Control Algorithm (switch manager) για τη σωστή ενεργοποίηση των fuel cells ανάλογα με το φορτίο.
4. Σχεδίαση των single και parallel PEM Fuel Cell διατάξεων στο simulink.
5. Υλοποίηση του αλγορίθμου PSO στο Matlab για την εύρεση των βέλτιστων K_p , K_i και κατόπιν εφαρμογή του αλγορίθμου στις objective function, που φαίνονται στο Table 2.
6. Προσομοίωση των συστημάτων στο simulink για τα μεταβλητά φορτία.
7. Τέλος θα γίνει σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της υλοποίησης μας για single και parallel PEM Fuel Cell όσον αφορά την κατανάλωση υδρογόνου, τις ταλαντώσεις της τάσης, το overshoot και το settling time, καθώς και σύγκριση των ευρημάτων του paper που μελετάμε με τα αποτελέσματα της δικής μας υλοποίησης.