



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΕΛΛΑΔΟΣ

*Ευφυείς Τεχνικές Διαμόρφωσης Τάσης Δικτύου,
με βάση κανόνες Κυψελωτών Αυτομάτων και
υλοποίηση σε διάταξη FPGA.*

Γρηγόριος Ζιγκιρκάς

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Καλόμοιρος

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Υπολογιστών
και Τηλεπικοινωνιών**

Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος



Περίληψη

- Μέθοδοι και τεχνικές ελέγχου εναλλασσόμενης τάσης
- Εισαγωγή στα Κυψελωτά Αυτόματα
- Δημιουργία σημάτων διαμόρφωσης με Κυψελωτά Αυτόματα
- Ανάπτυξη του ελεγκτή Κυτταρικής Αυτοματοποίησης στο FPGA
- Αποτελέσματα και συμπεράσματα

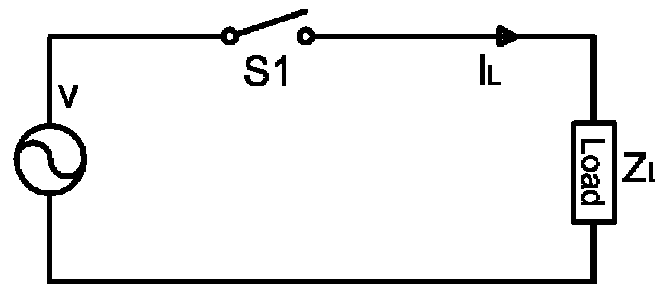
Έλεγχος εναλλασσόμενης τάσης

Ο έλεγχος της AC τάσης επιτυγχάνεται μέσω διαμόρφωσης επιτρέποντας αντίστοιχο έλεγχο της ροής ισχύος.

■ Τεχνικές διαμόρφωσης AC τάσης

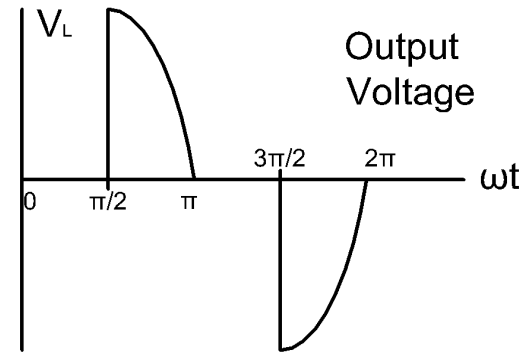
1. Ελέγχου γωνίας φάσης (Phase angle control).
2. Αγωγής και αποκοπής (ON – OFF control).
3. Κατάτμησης (Chopping).

Οι τεχνικές διαμόρφωσης πραγματοποιούνται από ημιαγωγικούς ηλεκτρονικούς διακόπτες που παρεμβάλλονται μεταξύ της ηλεκτρικής πηγής και των φορτίων.

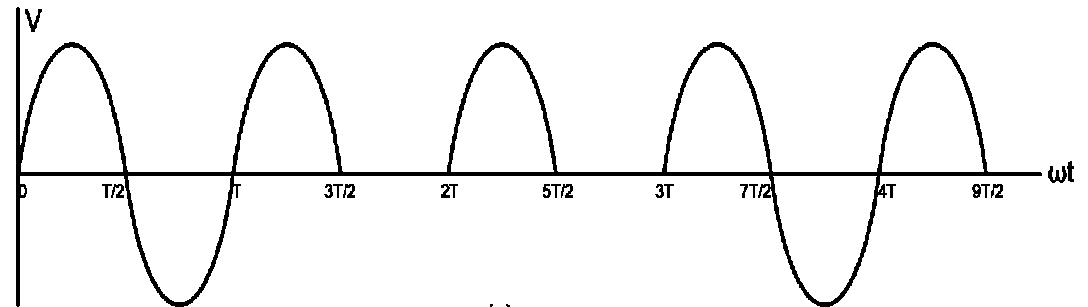


Τεχνικές διαμόρφωσης AC τάσης

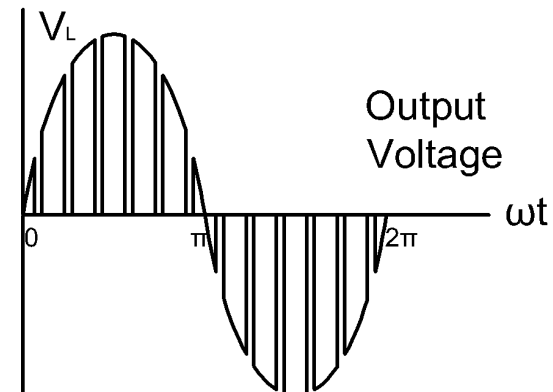
- Έλεγχος γωνίας φάσης:
(Triacs, Thyristors)



- Αγωγής και αποκοπής :
(Triacs, Thyristors, Power Transistors)

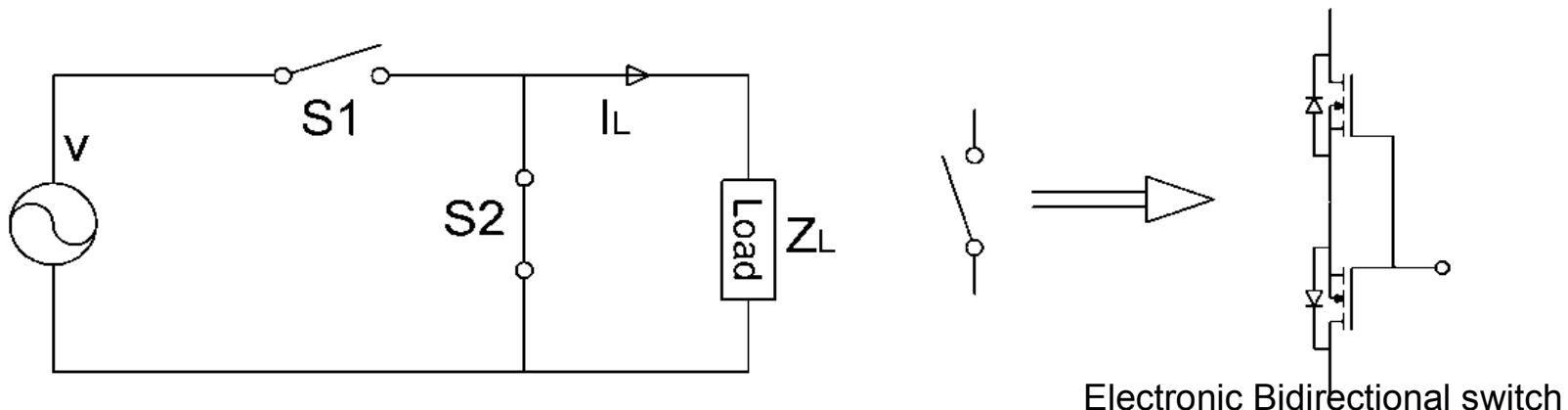


- Κατάτμησης :
(FETs, IGBTs, Power Transistors)



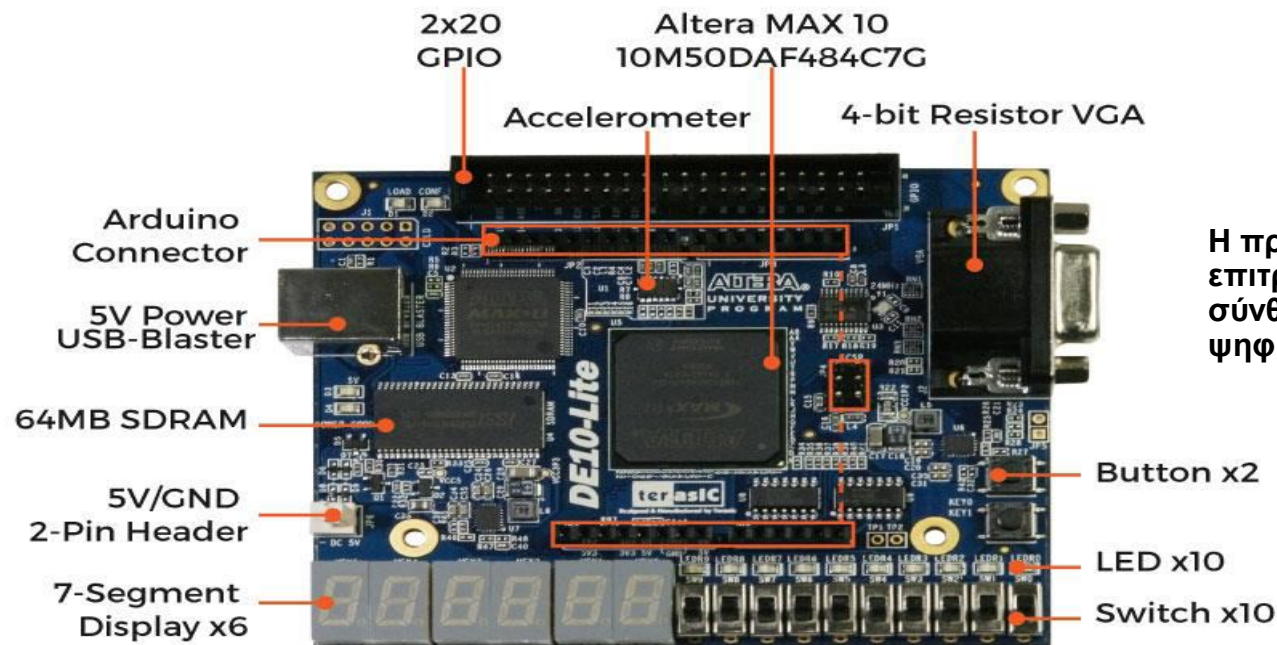
Η εργασία με μία ματιά:

- Ο έλεγχος τάσης σε σύνθετα (RL) ηλεκτρικά φορτία επιτυγχάνεται από ημιαγωγικούς διακόπτες (FETs).
- Κάθε ημιπερίοδος της AC τάσης διαμορφώνεται από μία σειρά παλμών που εξάγει το μονοδιάστατο δυαδικό Κυψελωτό Αυτόματο (Cellular Automata, CA).
- Η λειτουργία των δυαδικών μονοδιάστατων CA στηρίζεται σε 256 κανόνες που ο καθένας δημιουργεί διαφορετικό πρότυπο παλμοσειράς.
- Μία διαφορετική προσέγγιση σύνθεσης και ανάπτυξης σημάτων διαμόρφωσης προτείνεται, στοχεύοντας στην επίδραση κατάλληλων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών.
- Η υιοθέτηση των CA στο σύστημα επιτρέπει τον καθορισμό των βέλτιστων σημάτων διαμόρφωσης στις πύλες των ημιαγωγικών διακοπών.
- Ο διακόπτης S1 ελέγχει την ισχύ που διαβιβάζεται στο φορτίο ενώ ο διακόπτης S2 προσφέρει freewheeling path στο σύστημα όταν το φορτίο έχει επαγωγικό χαρακτήρα. Οι δύο διακόπτες έχουν συμπληρωματική λειτουργία.



Στον ελεγκτή μας ένα FPGA είναι η καρδιά του συστήματος που αναλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Ελέγχει την τάση εξόδου εφαρμόζοντας τους παλμούς διαμόρφωσης από το CA στις πύλες των ημιαγωγικών διακοπών.
- Παράγει και εξελίσσει, από γενιά σε γενιά, τα σήματα διαμόρφωσης που αναπτύσσει το CA σύμφωνα με τον κανόνα επιλογής.
- Συγχρονίζει τους παλμούς διαμόρφωσης με την AC τάση της πηγής.
- Ο ελεγκτής μας στηρίζεται στο αναπτυξιακό DE10-Lite που φέρει το FPGA MAX 10 (10M50DAF48C7G) της Altera.



Η προγραμματιζόμενη λογική επιτρέπει την ανάπτυξη σύνθετων και πολύπλοκων ψηφιακών κυκλωμάτων

Εισαγωγή στα Κυψελωτά Αυτόματα

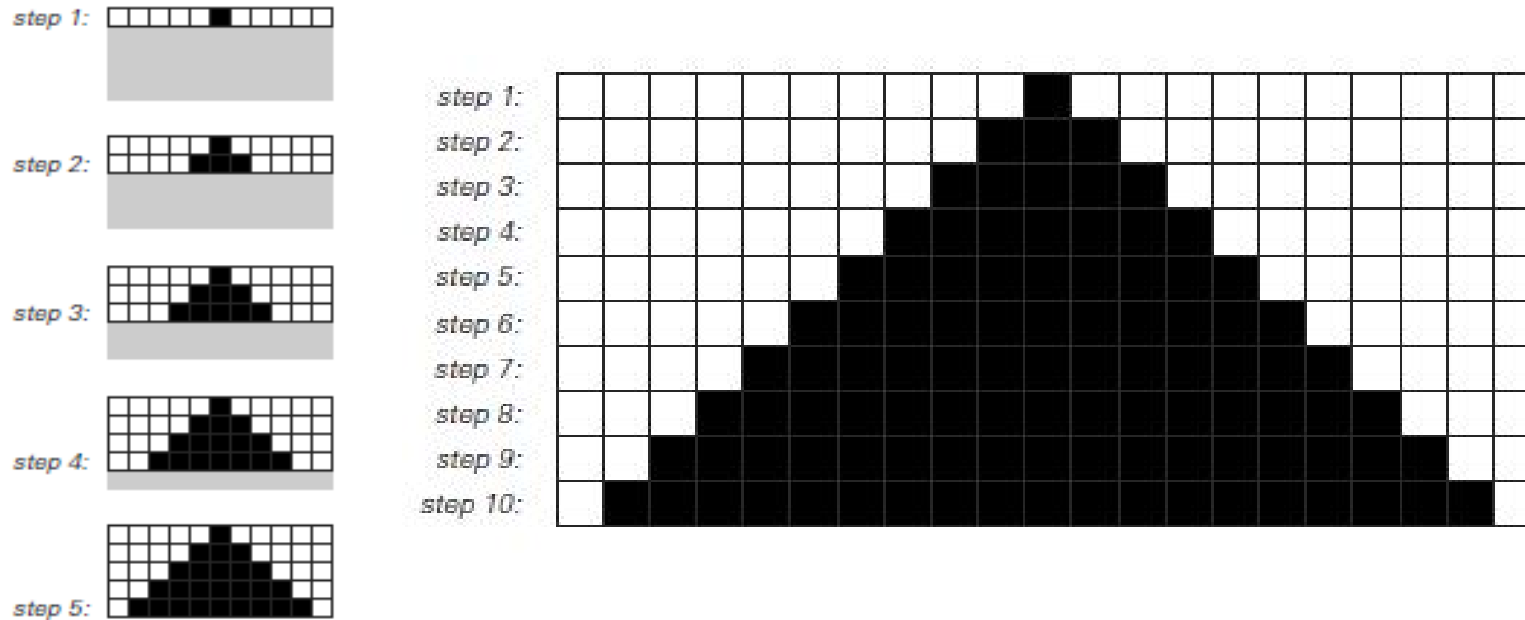
- Κυψελωτό Αυτόματο είναι ένα διακριτό σύνολο κυττάρων (κελιών) παρατεταγμένα σε ένα πλέγμα, όπου κάθε κύτταρο έχει ένα σύνολο διακριτών καταστάσεων.
- Το απλούστερο πλέγμα είναι μία μονοδιάστατη γραμμή.
- Ο ελάχιστος αριθμός καταστάσεων είναι δύο '0' ή '1' (λευκό ή μαύρο).
- Για τους παραπάνω λόγους τους αποδίδεται ο όρος Μονοδιάστατα Δυαδικά Κυψελωτά Αυτόματα.



- Η κατάσταση κάθε κελιού αλλάζει σε διακριτά χρονικά τμήματα (γενιές) και η αλλαγή συντελείτε συντεταγμένα για όλα τα κύτταρα στο πλέγμα.
- Η κατάσταση της επόμενης γενιάς ενός κελιού, εξαρτάται από την τιμή που είχε το ίδιο και οι εφαιπτόμενοι γείτονές του στην προηγούμενη γενιά και με βάση ένα κανόνα μετατροπής.
- Ο S. Wolfram στο βιβλίο του "A New Kind of Science", προσδιόρισε μία οικογένεια κανόνων που μπορούν να προσομοιώσουν πολύπλοκες συμπεριφορές συστημάτων.

Εξέλιξη Κυψελωτών Αυτομάτων

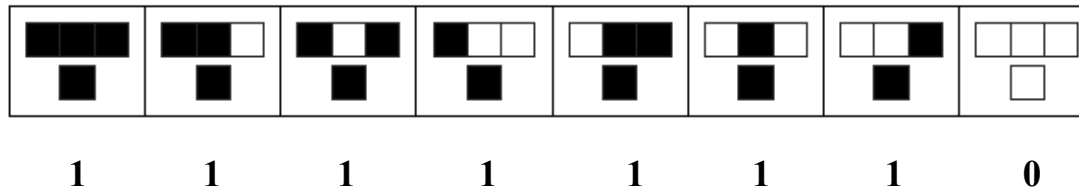
- Τα CA έχουν την ικανότητα να αναπαράγουν τον εαυτό τους μέσα από μία διαδικασία εξέλιξης που μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά.



- Το 1^ο ενεργό κελί στην αφετηρία ονομάζεται σπόρος (seed) και η θέση του στο πλέγμα καθορίζει την μορφή και το σχήμα της εξέλιξης.
- Για το συγκεκριμένο CA ο κανόνας μετατροπής ορίζει ότι ένα κελί μπορεί να είναι μαύρο (λογικό 1) όταν το ίδιο ή κάποιος από τους γείτονές του είχε μαύρο χρώμα στην προηγούμενη γενιά.

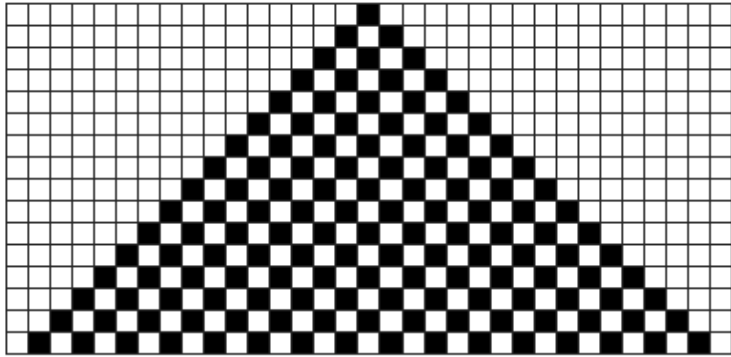
Κανόνες Κυψελωτών Αυτομάτων

- Ομαδοποιώντας τα κελία σε τριάδες με βάση τις πιθανές τιμές κατάστασης ενός κελιού και της γειτονίας του, προκύπτει η γραφική αναπαράσταση του κανόνα.

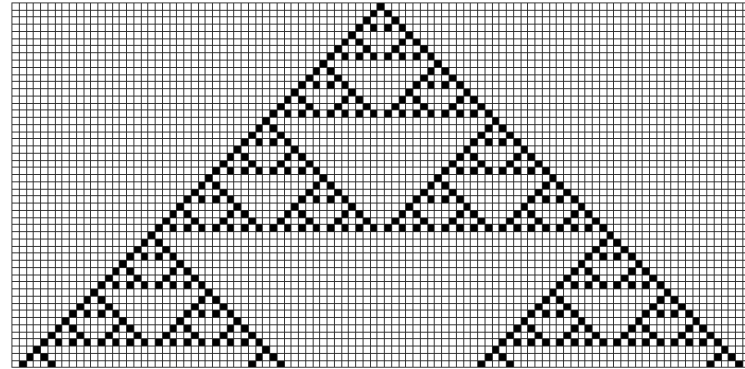


- Σύμφωνα με τις 8 πιθανές περιπτώσεις, ορίζεται ένας 8bit αριθμός που αποτελεί τον χαρακτηριστικό αριθμό κάθε κανόνα.
- Για τα μονοδιάστατα δυαδικά CA ισχύουν $2^8 = 256$ (0 ως 255) κανόνες.
- Όταν αλλάξει η λογική της μετατροπής προκύπτει ένας διαφορετικός νέος κανόνας.

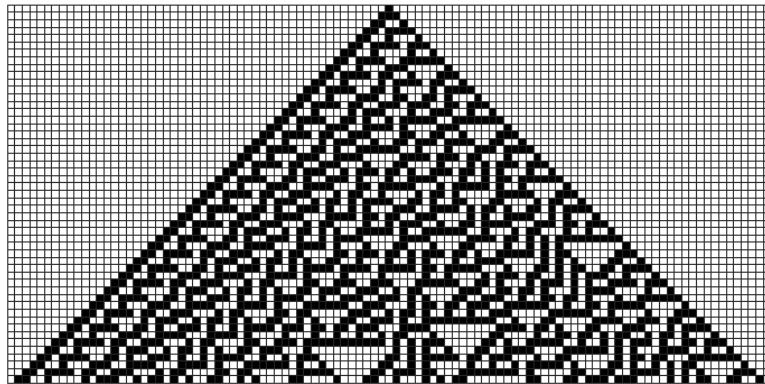
Πρότυπα κανόνων Κυψελωτών Αυτομάτων



Κανόνας 250



Κανόνας 90



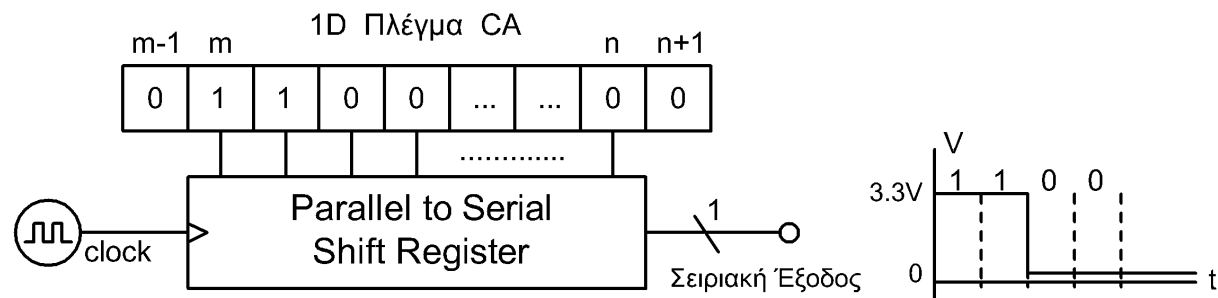
Κανόνας 30



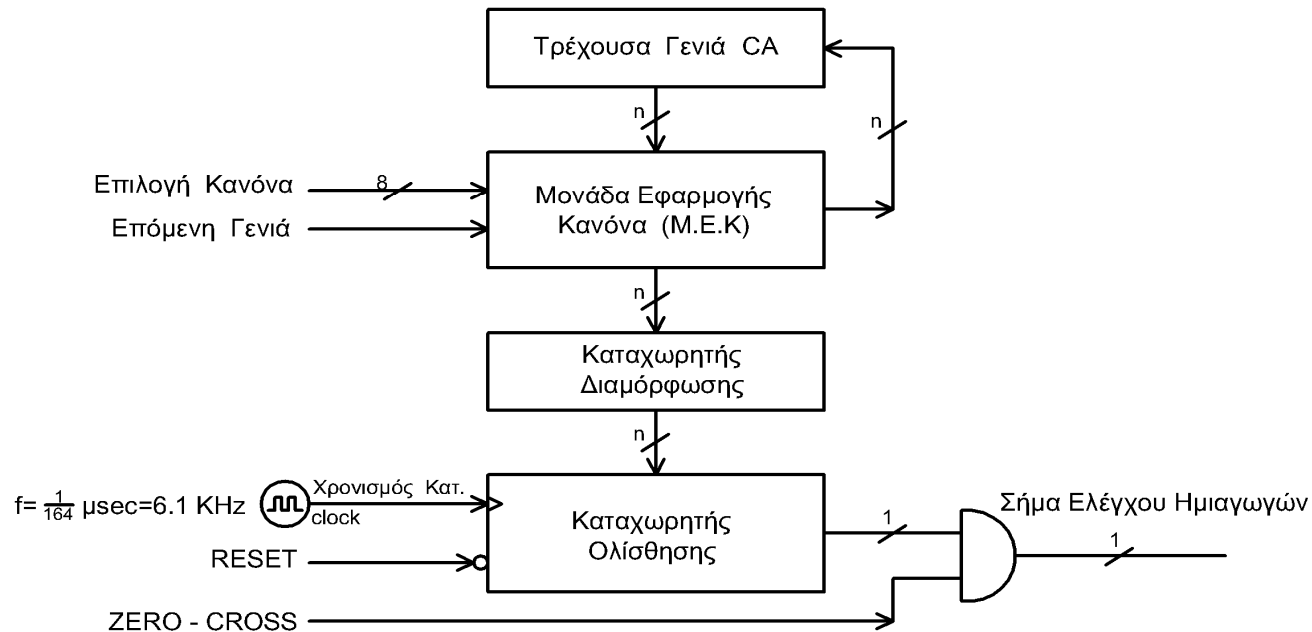
Δημιουργία ψηφιακών σημάτων από CA



- Η εφαρμογή του κανόνα 220 αναπαράγει ένα πρότυπο που μπορεί να αποδώσει ένα παλμό μεταβλητού εύρους από γενιά σε γενιά.
- Συσχετίζοντας ένα κελί σε ένα bit η πληροφορία που εμπεριέχει το CA μπορεί να εξαχθεί ως σήμα από έναν parallel to serial shift register ή από έναν πολυπλέκτη .



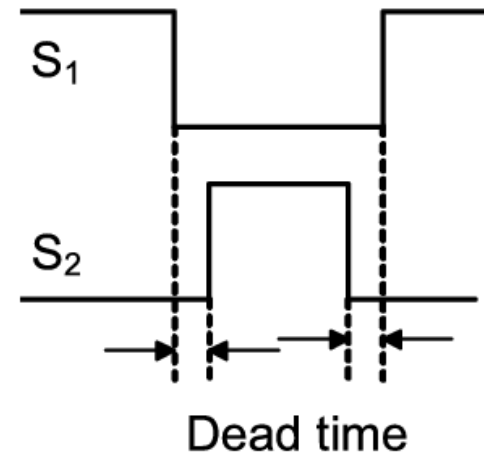
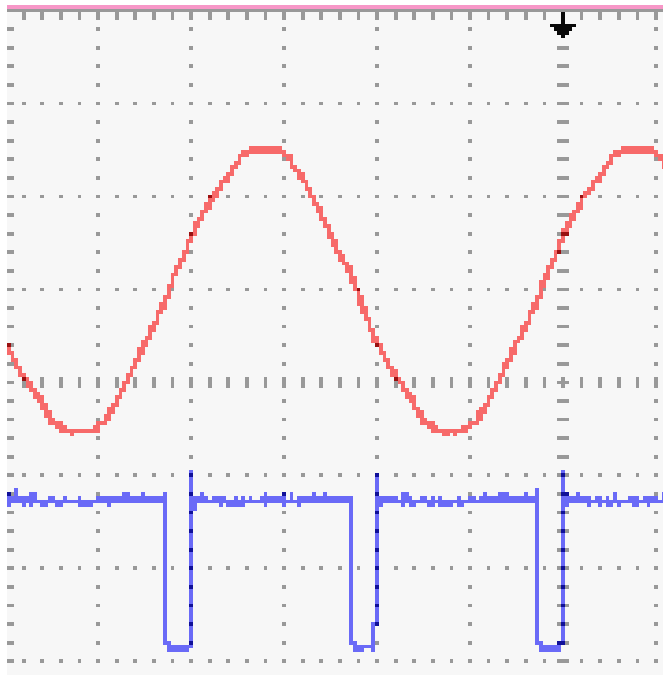
Λογική Μονάδα Κυτταρικής Αυτοματοποίησης



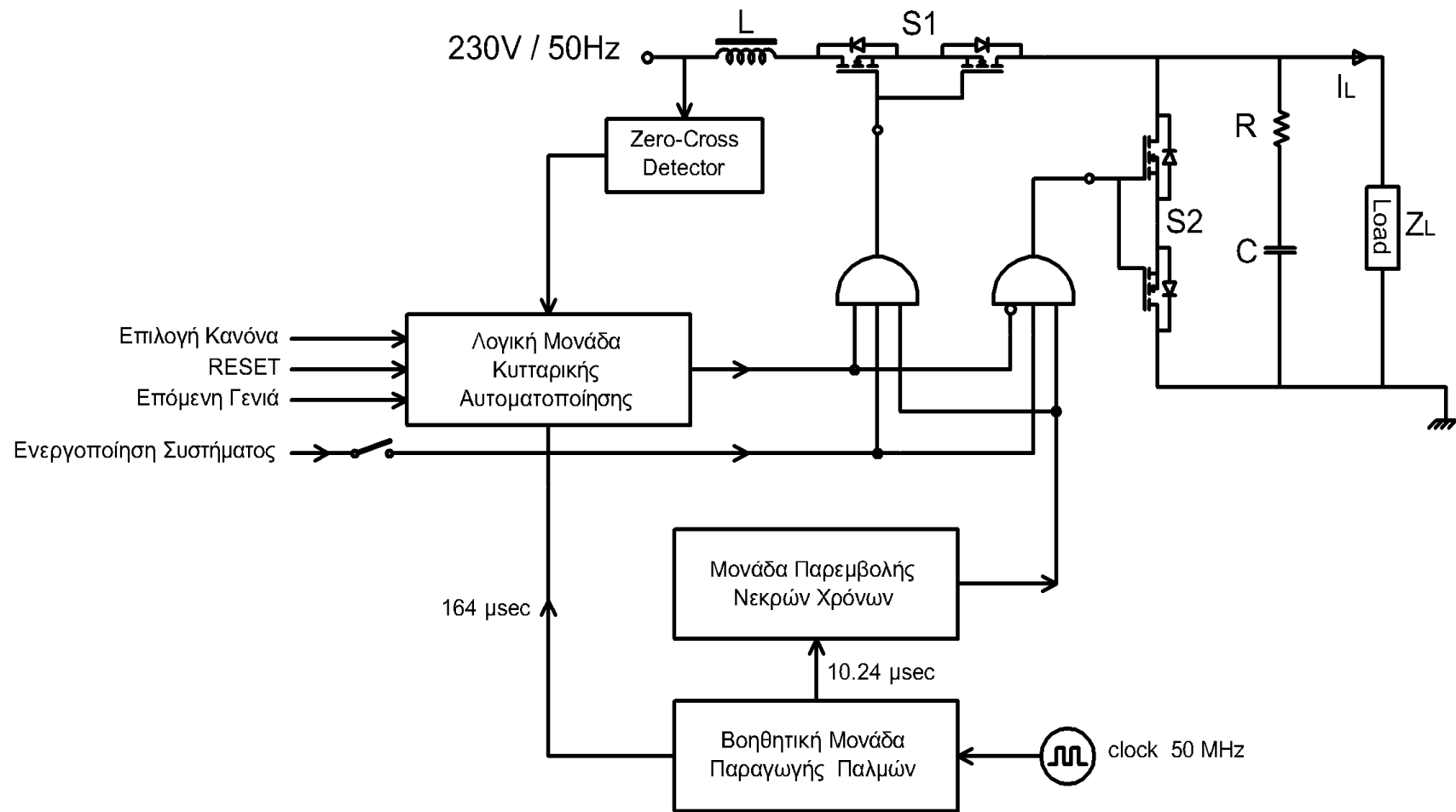
- Η Λογική Μονάδα Κυτταρικής Αυτοματοποίησης αποτελεί το βασικότερο συστατικό του συστήματος.
- Μέσα σε αυτή γεννιούνται τα σήματα ελέγχου των ημιγυγικών διακοπών.
- Πραγματοποιείται η σειριακή μετάδοση της παράλληλης πληροφορίας που φέρει το CA.
- Η μετάδοση είναι συγχρονισμένη για κάθε ημιπερίοδο της AC τάσης.

Σχεδιαστικές απαιτήσεις του ελεγκτή

- Ο χρόνος μετάδοσης της ολόκληρης της παράλληλης πληροφορίας πρέπει να συμβαίνει σε 10msec, όσο δηλαδή ο χρόνος διάρκειας της ημιπεριόδου.
- Ο συγχρονισμός ανάπτυξης των σημάτων διαμόρφωσης στα όρια κάθε ημιπεριόδου επιτυγχάνεται με παλμούς zero - cross.
- Η συμπληρωματική λειτουργία των ημιαγωγικών διακοπών απαιτεί χρόνους αποκατάστασης της αγωγής και της αποκοπής (νεκροί χρόνοι).

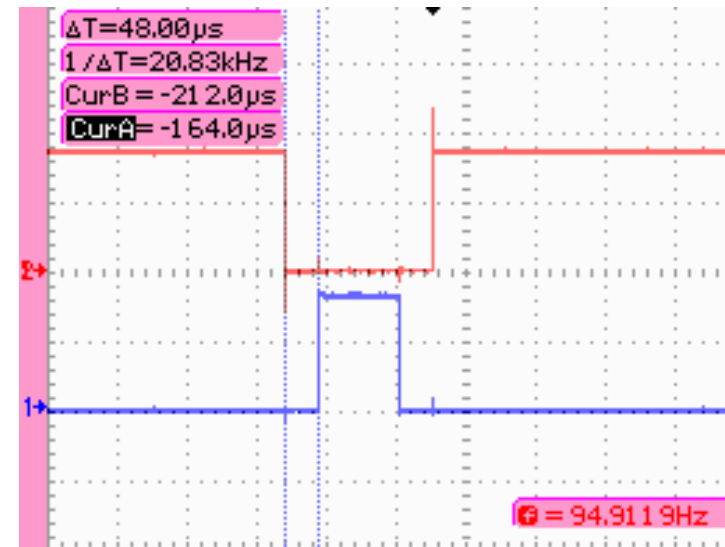
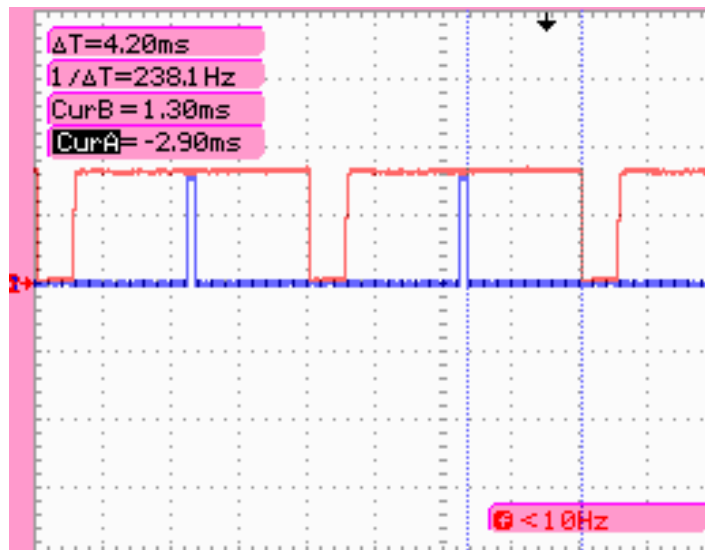


Το λειτουργικό διάγραμμα βαθμίδων του ελεγκτή



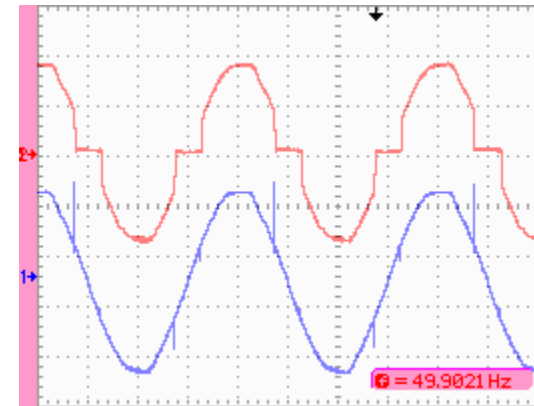
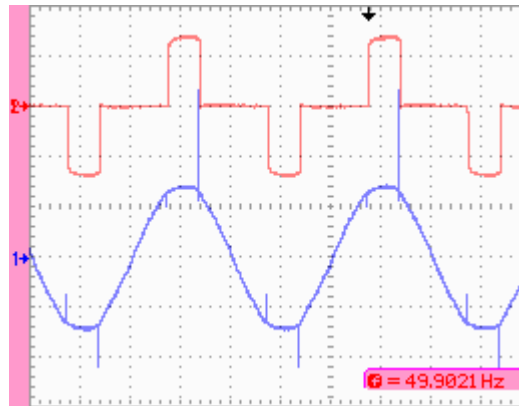
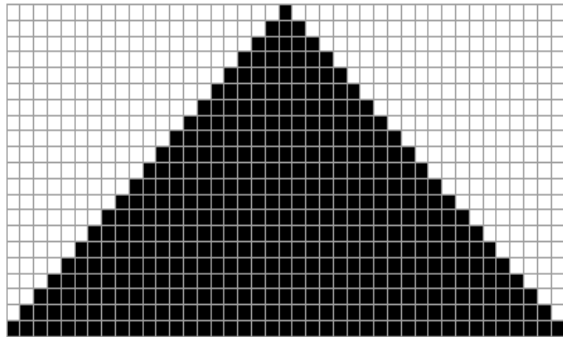
Η απόκριση των σημάτων στην διάταξη FPGA

- Συγχρονισμός του σήματος διαμόρφωσης στα χωρικά όρια της ημιπεριόδου.
- Το σύστημα ξεκινά πάντα με ένα αρχικοποιημένο κελί (seed).
- Η λογική κατάσταση κάθε κελιού στο CA αντιπροσωπεύει το ελάχιστο σταθμικό βήμα του ελεγκτή.
- Οι νεκροί χρόνοι αποτρέπουν τις συγκρούσεις.

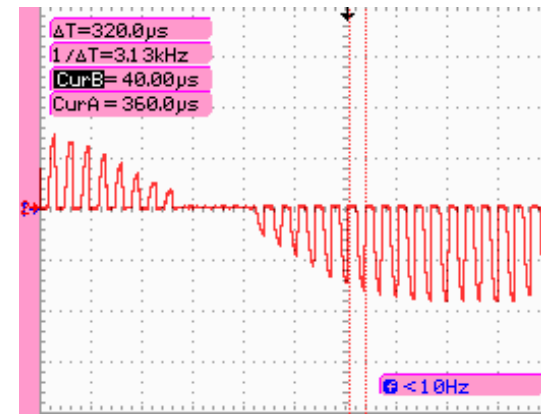
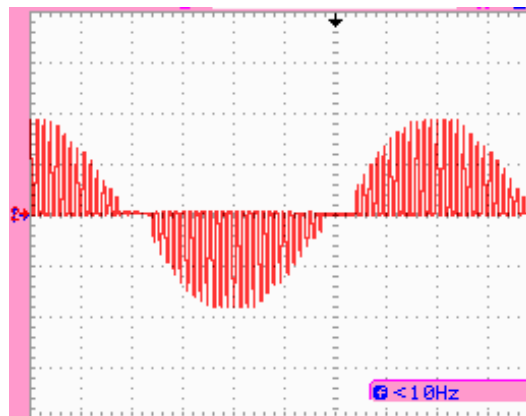
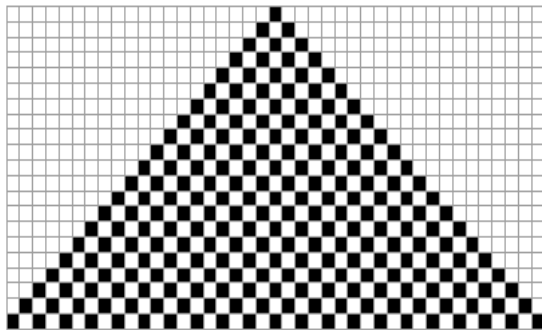


Διαμόρφωση με την τεχνική της κατάρτησης (Chopping)

- Κανόνας 222 (centroid PWM).

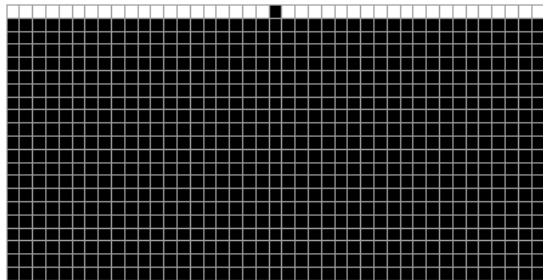


- Κανόνας 250 (PWM).

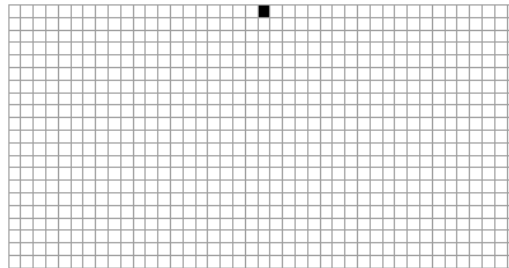


Διαμόρφωση με την τεχνική ON – OFF Control

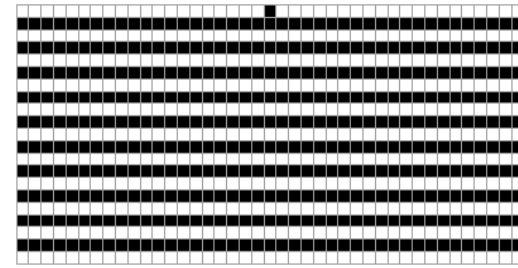
- Εναλλάσσοντας τους κανόνες 255 και 0 ή γενιές στον κανόνα 127.



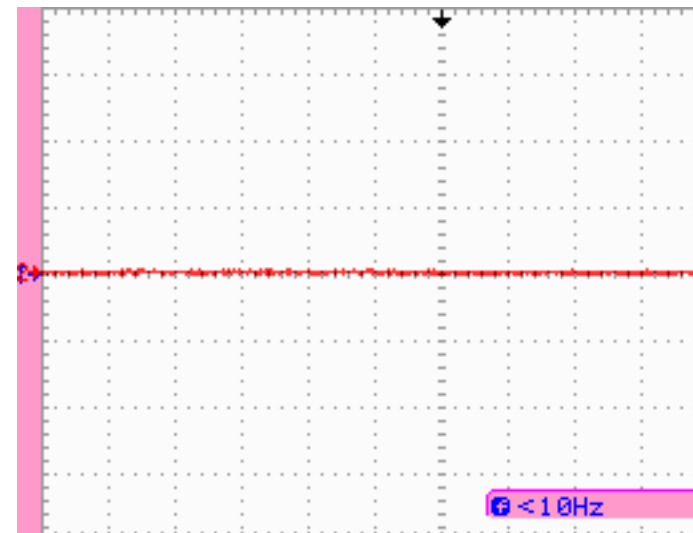
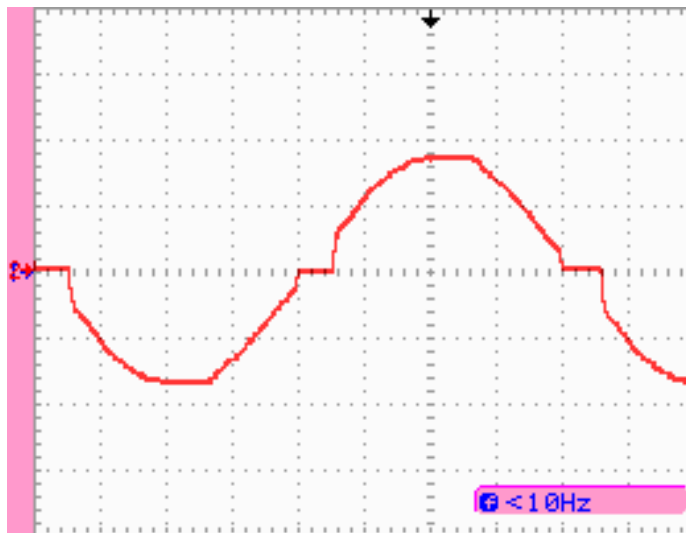
Rule 255



Rule 0

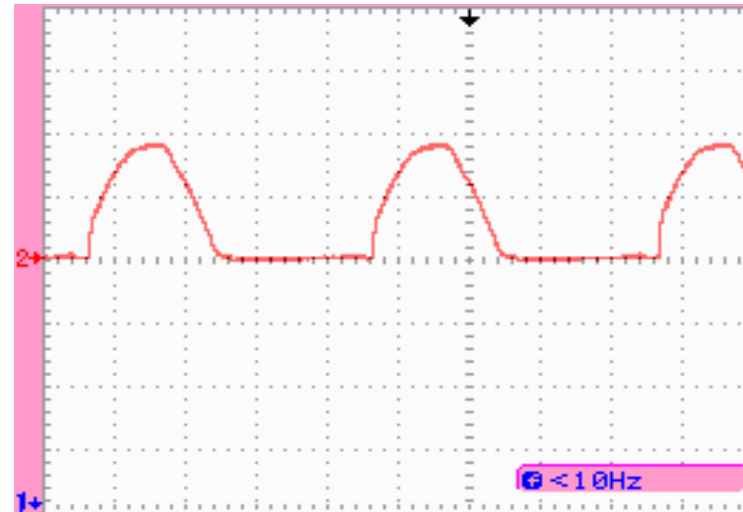


Rule 127

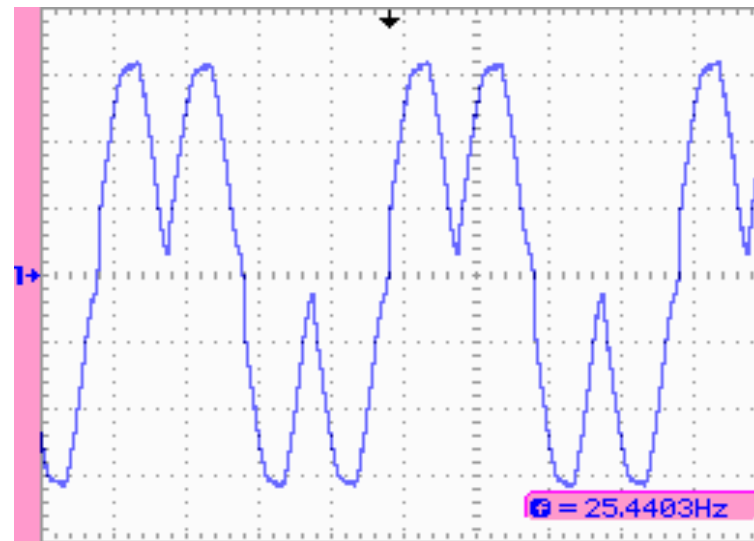
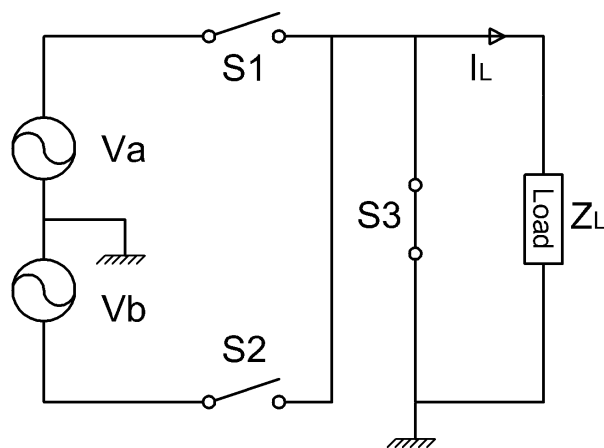


Διαμόρφωση με την τεχνική ON – OFF Control

- Λειτουργία ανόρθωσης.

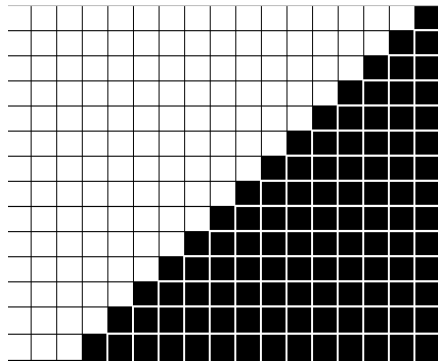


- Μεταβολή συχνότητας.

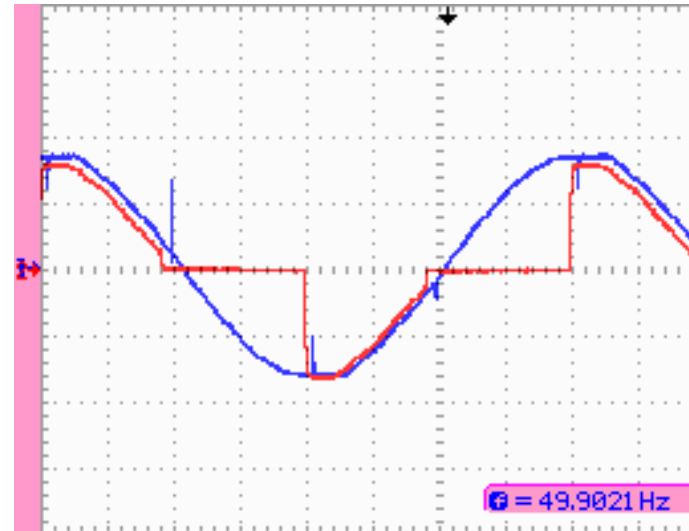


Διαμόρφωση με την τεχνική phase angle control

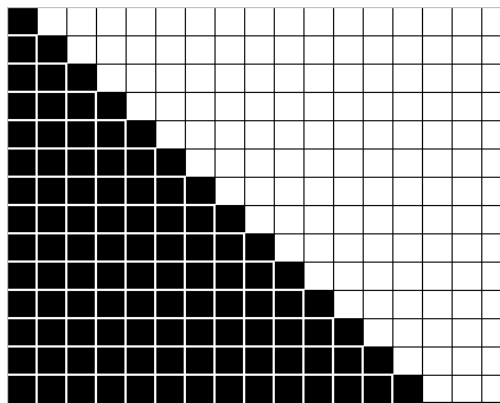
- Conventional phase control.



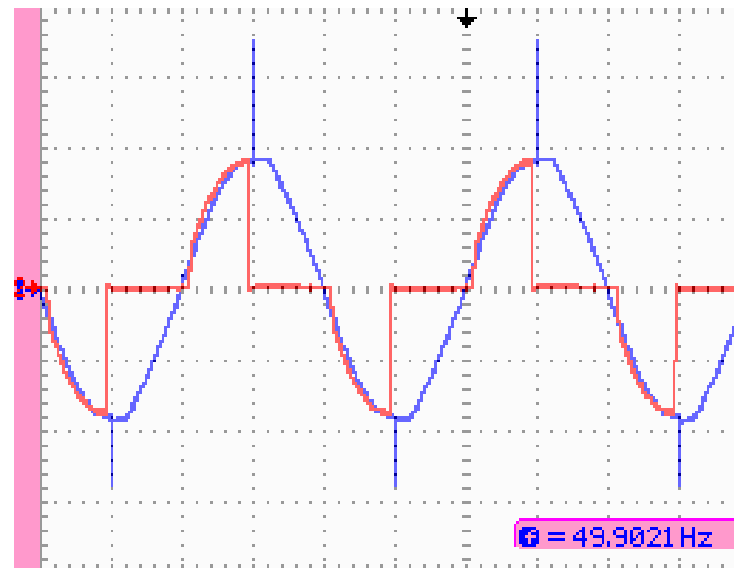
Rule 206



- Invert phase control.

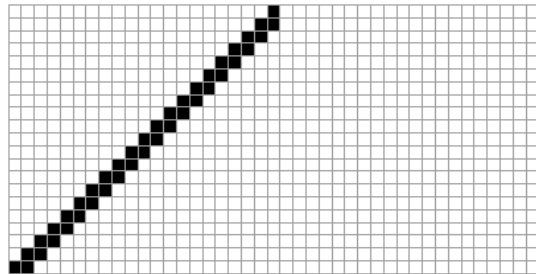


Rule 220

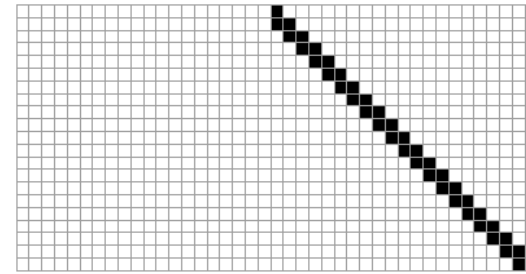


Ολίσθηση πληροφορίας του CA πάνω στο πλέγμα

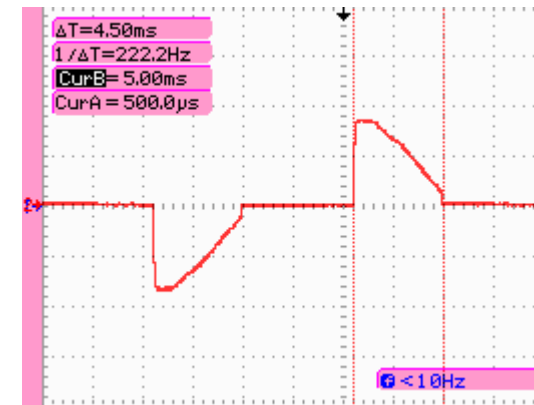
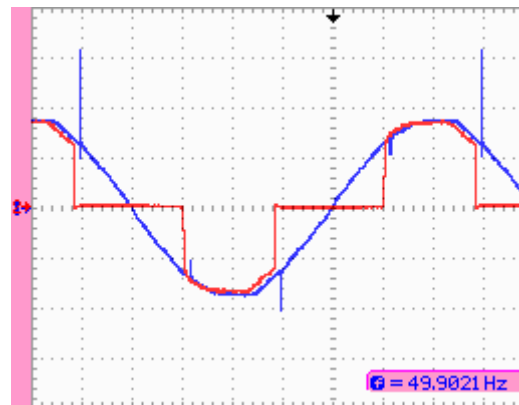
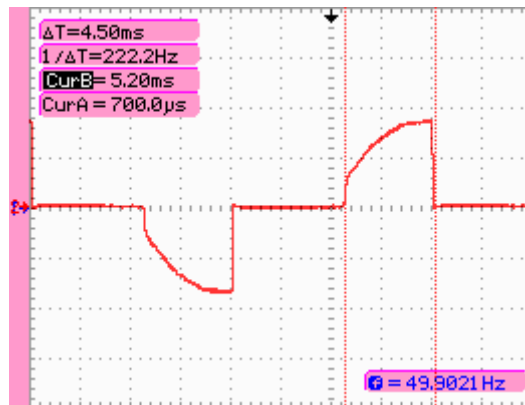
- Το πρότυπο του κανόνας αριστερής ολίσθησης 174



- Το πρότυπο του κανόνας δεξιάς ολίσθησης 244



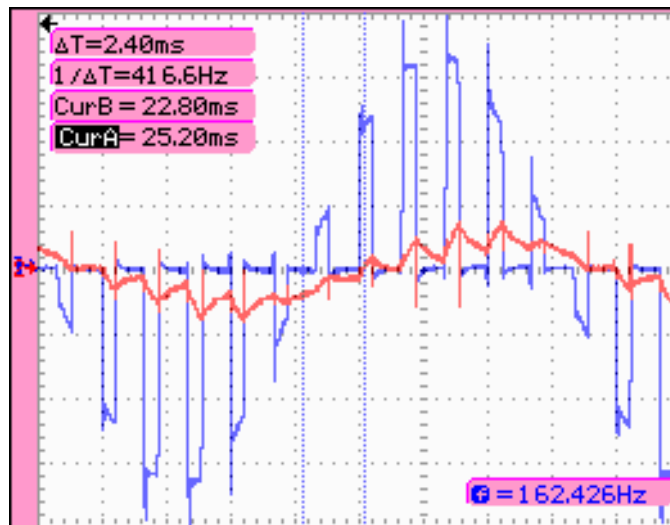
- Η ολίσθηση του σήματος διαμόρφωσης στα όρια της ημιπεριόδου.



Ρύθμιση της τάσης επαγωγικού φορτίου

- Ρύθμιση της τάσης στα 80V.
- Διάτρηση της διαφοράς φάσης με το ρεύμα σε χαμηλή τιμή.

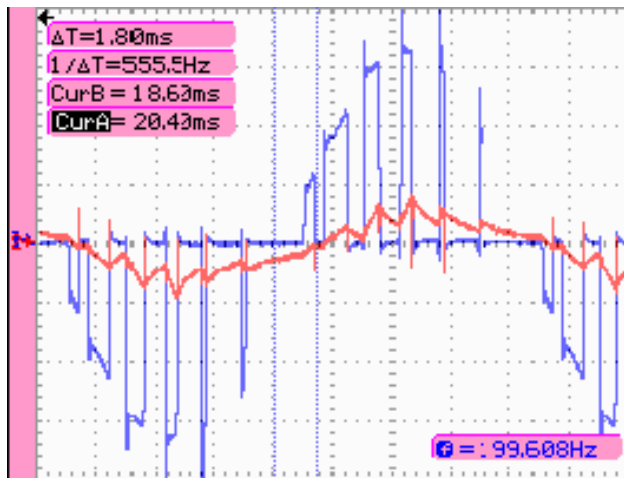
Εφαρμογή AC PWM διαμόρφωση



$$\Delta\phi = 43.20^\circ$$

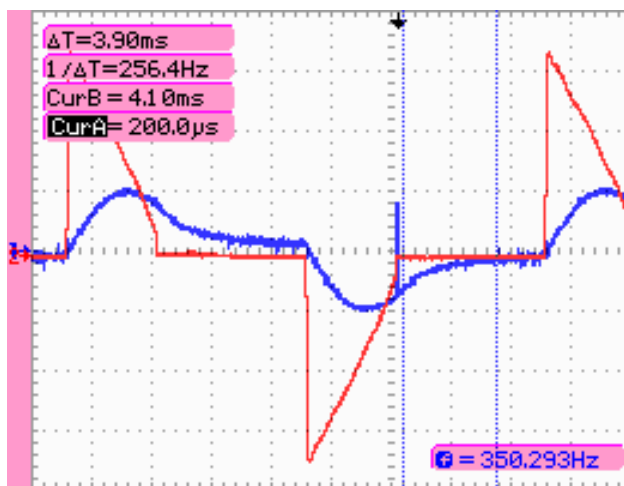
Ρύθμιση της τάσης επαγωγικού φορτίου

Εφαρμογή Fuzzy APWM διαμόρφωση



$\Delta\phi=32.40^\circ$

Εφαρμογή Phase Angle Control

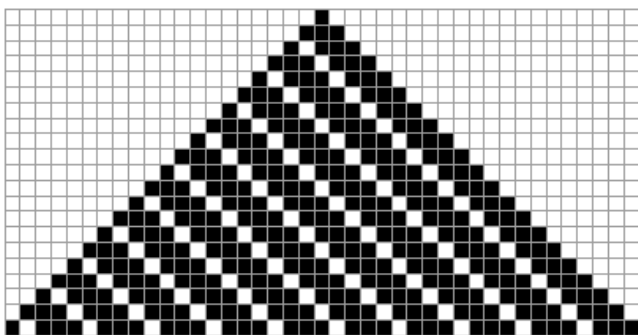


$\Delta\phi=70.20^\circ$

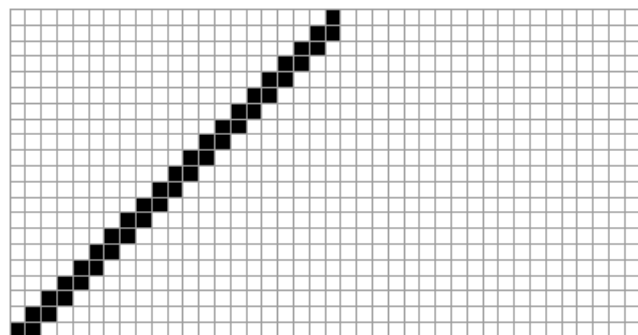
Ρύθμιση της τάσης επαγωγικού φορτίου

Εφαρμογή Cellular Automata διαμόρφωση

- Για την ανάπτυξη της τάσης των 80V επιλέγεται ο κανόνας 246.
- Επιβάλλοντας αριστερή ολίσθηση με τον κανόνα 174, το ρεύμα ακολουθεί την τάση με αποτέλεσμα να υποχωρεί η διαφορά φάσης.
- Η ολίσθηση ως ενέργεια όμως μεταβάλλει την τάση από τον στόχο των 80V.
- Η επαναφορά της τάσης με παράλληλα την διόρθωση του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$), ευδοκιμεί με την συνεχή εναλλαγή των δύο κανόνων που εφαρμόζονται στο Κυψελωτό Αυτόματο.



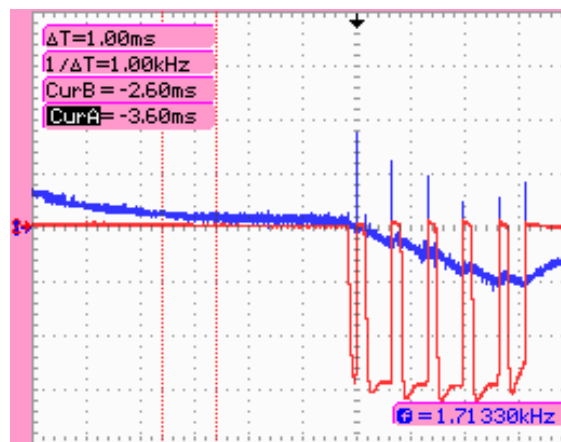
Rule 246



Rule 174

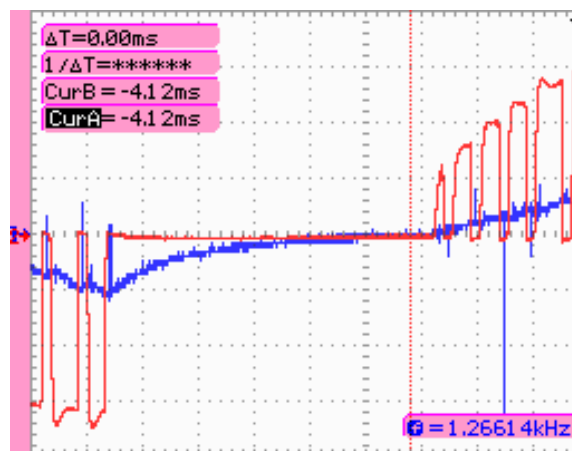
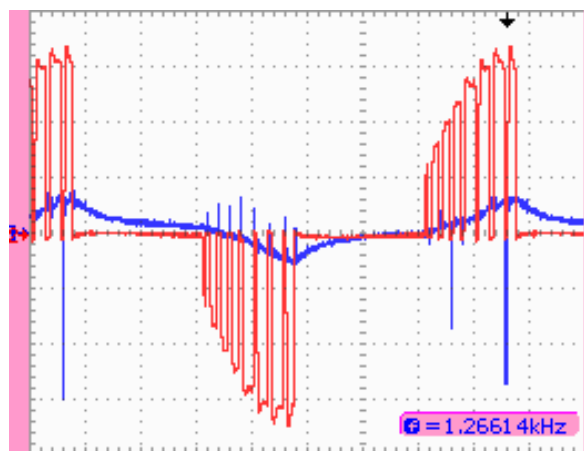
Βέλτιστη διαμόρφωση με την χρήση Κυβελωτού Αυτόματου

- Εφαρμογή μόνο του κανόνα 246.



$\Delta\phi = 18.00^\circ$

- Εναλλάξ εφαρμογή των κανόνων 246 και 174.



$\Delta\phi = 0.00^\circ$



Συμπεράσματα

- Το σύστημα προσφέρει πολλαπλές δυνατότητες ανάπτυξης και σύνθεσης σημάτων ελέγχου ημιαγωγικών διακοπών, για τον έλεγχο AC τάσης .
- Ο AC Chopper στο κύκλωμα ισχύος δίνει ευελιξία στον ελεγκτή.
- Η δύναμη της απλότητας των CA, εκμηδενίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα του υλικού όσο και του λογισμικού σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.
- Η δημιουργία των σημάτων διαμόρφωσης, στηρίζεται στην οριοθέτηση του σπόρου στο πλέγμα, την επιλογή του κανόνα μετατροπής, το εύρος και την συχνότητα μετάδοσης της πληροφορίας του πλέγματος του CA.
- Η ικανότητα μετασχηματισμού της διάταξης σε: μετατροπέα AC/DC, μετατροπέα συχνότητας, ρυθμ. τάσης , ελεγκτή φάσης κ.α.
- Μέσα από την αλληλουχία εφαρμογής κανόνων αναπτύσσονται στοχευμένες μέθοδοι διαμόρφωσης που προσαρμόζουν τον έλεγχο στις ιδιαιτερότητες και τον χαρακτήρα των φορτίων.
- Προσάρτηση μίας ανώτερης οντότητας ελέγχου που θα δρομολογεί τους κανόνες σύμφωνα με τα δεδομένα μετρήσεων ώστε το σύστημα να αποδίδει την βέλτιστη διαμόρφωση χωρίς να επεμβαίνει ο χρήστης.