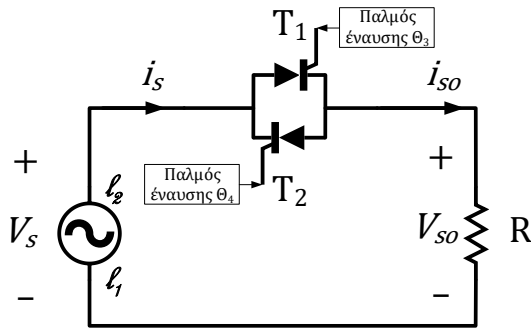


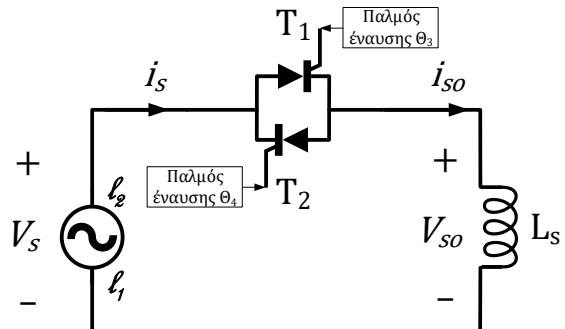


Βιομηχανική Ηλεκτρονική

Εργαστηριακή Άσκηση 2 – AC Ρυθμιστής



Σχ. 1: Ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης με ωμικό φορτίο στην έξοδο.



Σχ. 2: Κύκλωμα ελεγχόμενης αυτεπαγωγής με θυρίστορ

Σκοπός της άσκησης

Η άσκηση αυτή έχει σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας του ρυθμιστή εναλλασσόμενης τάσης και του κυκλώματος ελεγχόμενης επαγωγής με θυρίστορ.

Απαραίτητες γνώσεις

Βιβλίο: «Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά», Σ. Ν. Μανιάς, Εκδ. Συμεών, 2^η έκδοση.
Ενότητες 3.3, 3.6, Κεφάλαιο 10 και διαφάνειες διάλεξης.

Προεργασία άσκησης

Μέρος Α: Για το κύκλωμα του Σχ. 1 δίνονται τα ακόλουθα:

- $V_s = 70 \text{ V}$ (ενεργός τιμή της τάσης εισόδου).
- $f_s = 50 \text{ Hz}$.
- $R = 50 \Omega$, $L = 0 \text{ mH}$.

Για κάθε τιμή της γωνίας έναυσης των θυρίστορ α , να υπολογιστούν:

1. Η γωνία αγωγής γ του θυρίστορ T_1 .
2. Η ενεργός τιμή της τάσης εξόδου V_{so} .
3. Η ενεργός τιμή του ρεύματος εξόδου I_{so} .
4. Η ενεργός ισχύς στην πλευρά του φορτίου P_{so} .
5. Η φαινόμενη ισχύς S και ο συντελεστής ισχύος λ στην είσοδο του μετατροπέα.

Μέρος Β: Για το κύκλωμα του Σχ. 2 δίνονται τα ακόλουθα:

- $V_s = 70 \text{ V}$ (ενεργός τιμή της τάσης εισόδου).
- $f_s = 50 \text{ Hz}$.
- $R = 0 \Omega$, $L = 150 \text{ mH}$.

Για κάθε τιμή της γωνίας έναυσης των θυρίστορ α , να υπολογιστούν:

1. Η γωνία αγωγής γ του θυρίστορ T_1 .
2. Η ενεργός τιμή της τάσης εξόδου V_{so} .



3. Το πλάτος της κυματομορφής του ρεύματος εξόδου \hat{I}_{so} .
4. Για γωνία έναυσης $\alpha = 90^\circ$, η ενεργός (RMS) τιμή του ρεύματος εξόδου I_{so} .

Μέρος Γ: Για φορτίο που αποτελείται από την εν σειρά διασύνδεση μιας αντίστασης και ενός πηνίου με τις τιμές $R = 50 \Omega$, $L = 150 \text{ mH}$, να υπολογίσετε την ελάχιστη τιμή της γωνίας έναυσης α για τη σωστή λειτουργία του ac ρυθμιστή (με τον όρο «σωστή λειτουργία» εννοείται η λειτουργία κατά την οποία στην έξοδο παρατηρούνται μόνο εναλλασσόμενα σήματα, χωρίς σταθερές συνιστώσες). Αν το κύκλωμα τροφοδοτείται από την ίδια πηγή τάσης στην είσοδο (με $V_s = 70 \text{ V}$), ποια είναι η μέγιστη (RMS) τιμή της τάσης στα άκρα του φορτίου;

Καταγράψτε τις εκτιμήσεις σας για τις διάφορες τιμές της γωνίας έναυσης α στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Μεγέθη προεργασίας εργαστηριακής άσκησης.

	Υπολογισμοί προεργασίας – Μέρος Α, $R = 50 \, \Omega$, $L = 0 \, \text{mH}$.					
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 36^\circ$	$\alpha = 72^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 144^\circ$
Γωνία αγωγής γ για το θυρίστορ T_1						
Ενεργός τιμή V_{so}						
Ενεργός τιμή I_{so}						
Ενεργός ισχύς P_{so}						
Φαινόμενη ισχύς στην είσοδο S						
Συντελεστής ισχύος στην είσοδο λ						
	Υπολογισμοί προεργασίας – Μέρος Β, $R = 0 \, \Omega$, $L = 150 \, \text{mH}$.					
	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 108^\circ$		$\alpha = 144^\circ$	
Γωνία αγωγής γ για το θυρίστορ T_1						
Ενεργός τιμή V_{so}						
Πλάτος ρεύματος εξόδου \hat{I}_{so}						
Ενεργός τιμή ρεύματος εξόδου I_{so}						
	Υπολογισμοί προεργασίας – Μέρος Γ, $R = 50 \, \Omega$, $L = 150 \, \text{mH}$.					
Ελάχιστη τιμή γωνίας έναυσης α_{\min}						
Μέγιστη ενεργός τιμή $V_{so, \max}$						



Εκτέλεση άσκησης στο εργαστήριο

Απαιτούμενες συσκευές και όργανα: Γέφυρα θυρίστορ, γεννήτρια παλμών έναυσης των θυρίστορ, ωμικό φορτίο 50Ω , επαγωγικό φορτίο με λήψεις $< 600 \text{ mH}$, πολύμετρα/αμπερόμετρα/βολτόμετρα, παλμογράφος.

ΠΡΟΣΟΧΗ:

Πριν κατασκευαστεί οποιαδήποτε συνδεσμολογία κυκλώματος ισχύος φροντίστε ο διακόπτης τροφοδοσίας δικτύου να είναι κλειστός και ο αυτομετασχηματιστής στην ένδειξη μηδέν. Δεν επιτρέπεται η ενεργοποίηση οποιουδήποτε κυκλώματος χωρίς την έγκριση του επιβλέποντα.

Πορεία άσκησης:

- Βεβαιωθείτε ότι έχετε διαβάσει, κατανοήσει και θυμάστε τις οδηγίες ασφαλείας του εργαστηρίου.
- Εντοπίστε και αναγνωρίστε τις συσκευές που θα χρειαστείτε κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης.
- Για να εκμεταλλευτείτε την μεταβλητή/ελεγχόμενη τάση στην είσοδο του κυκλώματος (μέσω αυτομετασχηματιστή), χρησιμοποιήστε τους ακροδέκτες l_2, l_1 .
- Κατασκευάστε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος ισχύος, συνδέοντας και τα δύο φορτία (ωμικό και επαγωγικό) σε σειρά. Συνδέστε κατάλληλα τα όργανα μετρήσεων στην είσοδο/έξοδο και στα άκρα των στοιχείων του κυκλώματος, ώστε να λάβετε τις απαιτούμενες μετρήσεις για τη συμπλήρωση του Πίνακα 2.
- Η πυροδότηση των θυρίστορ θα γίνει από την έξοδο Th_3-Th_4 της μονάδας ελέγχου.
- Χρησιμοποιήστε τις τιμές των παθητικών στοιχείων (R, L) που δίνονται στην προεργασία της άσκησης. Μετρήστε την τιμή της αντίστασης του ωμικού φορτίου για να βεβαιωθείτε ότι έχει τη σωστή τιμή. Συνδέστε το πηνίο στη λήψη $L = 150 \text{ mH}$. Για το πρώτο μέρος της άσκησης, βραχυκυκλώστε τα άκρα του πηνίου, ώστε το φορτίο να είναι καθαρά ωμικό.
- Βεβαιωθείτε ότι τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιείτε έχουν τη δυνατότητα μέτρησης των αντιστοιχών μεγεθών/τιμών για τις οποίες τα χρησιμοποιείτε. Ορίστε την κλίμακα ένδειξης του αμπερομέτρου σύμφωνα με την αναμενόμενη τιμή του ρεύματος που υπολογίσατε από την προεργασία της άσκησης.
- Ζητήστε τον έλεγχο του κυκλώματος από τον επιβλέποντα του εργαστηρίου και ενεργοποιήστε τη διάταξη με τη βοήθειά του. Ορίστε την τάση εισόδου του κυκλώματος (μέσω του αυτομετασχηματιστή) στην τιμή της προεργασίας.
- Επιβεβαιώστε ότι οι κυματομορφές ρεύματος/τάσης εισόδου/εξόδου που βλέπετε στον παλμογράφο αντιστοιχούν στις θεωρητικά αναμενόμενες, καθώς και ότι οι τιμές που καταγράφετε κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων αντιστοιχούν σ' αυτές που υπολογίσατε στην προεργασία της άσκησης. **Προσοχή:** Η μέτρηση της γωνίας έναυσης α γίνεται από την απεικόνιση των κυματομορφών στον παλμογράφο, όχι από τη συσκευή παλμοδότησης.



- Συμπληρώστε με τις μετρήσεις σας τις υπόλοιπες τιμές του Πίνακα 2.
- Δείτε στον παλμογράφο τις κυματομορφές της τάσης στα άκρα του θυρίστορ T_1 , $v_{AK,1}$ και του ρεύματος i_{T1} . Βεβαιωθείτε ότι βλέπετε τις κυματομορφές με τη σωστή πολικότητα. Δικαιολογήστε την εμφάνιση θετικής τάσης μεταξύ ανόδου και καθόδου και τη διαφορά της κυματομορφής σε σχέση με αυτήν μιας διόδου.
- Όταν ολοκληρώσετε τις μετρήσεις για το ωμικό φορτίο, ορίστε τη γωνία έναυσης των θυρίστορ στις 180° , ώστε η τάση στα άκρα του φορτίου να είναι μηδενική. Επιβεβαιώστε ότι έχετε ορίσει σωστά τη γωνία έναυσης από τις μετρήσεις σας και την απεικόνιση στον παλμογράφο.
- Με τη βοήθεια του επιβλέποντος, εισάγετε το πηνίο στο κύκλωμα και αφαιρέστε το ωμικό φορτίο (αν έχετε τη δυνατότητα μειώστε την αντίσταση σταδιακά, αλλιώς βραχυκυκλώστε), ώστε να υλοποιήσετε το κύκλωμα του Σχ. 2. Βεβαιωθείτε ότι η γωνία έναυσης έχει οριστεί στις 180° .
Προσοχή: Αν ξεκινήσετε το μέρος αυτό της άσκησης με μικρή γωνία έναυσης, το ρεύμα που θα εμφανιστεί στο κύκλωμα θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αναμενόμενο (γιατί συμβαίνει αυτό;).
- Βεβαιωθείτε ότι το αμπερόμετρο είναι στη σωστή κλίμακα μέτρησης, σύμφωνα με τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή του ρεύματος που υπολογίσατε από την προεργασία της άσκησης.
- Ελαττώστε σταδιακά τη γωνία έναυσης ως τις 90° και συμπληρώστε με τις κατάλληλες μετρήσεις τις τιμές του Πίνακα 2. Για το πλάτος του ρεύματος χρησιμοποιήστε την απεικόνιση της κυματομορφής στον παλμογράφο.
- Δείτε στον παλμογράφο τις κυματομορφές της τάσης στα άκρα του θυρίστορ T_1 , $v_{AK,1}$ και του ρεύματος i_{T1} . Βεβαιωθείτε ότι βλέπετε τις κυματομορφές με τη σωστή πολικότητα. Ποια είναι η μέγιστη τάση αποκοπής του θυρίστορ T_1 ; Εξαρτάται η μέγιστη τάση αποκοπής από τη γωνία έναυσης α ;
- Με τη βοήθεια του επιβλέποντος, ρυθμίστε κατάλληλα την κλίμακα μέτρησης του αμπερομέτρου, ώστε το ρεύμα του να μην υπερβεί τη μέγιστη δυνατότητα μέτρησης. Ελαττώστε τη γωνία έναυσης α κάτω από τις 90° και παρατηρήστε στον παλμογράφο το ρεύμα εξόδου, το ρεύμα του θυρίστορ T_1 και του θυρίστορ T_2 . Ποια είναι η γωνία αγωγής του θυρίστορ T_2 στην περίπτωση αυτή; Γιατί η ενεργός τιμή της τάσης εξόδου αλλάζει συμπεριφορά ξαφνικά όταν πάμε σε γωνίες μικρότερες των 90° ;
- Όταν ολοκληρώσετε τις μετρήσεις για το επαγωγικό φορτίο, ορίστε τη γωνία έναυσης των θυρίστορ στις 180° , ώστε η τάση στα άκρα του φορτίου να είναι μηδενική. Επιβεβαιώστε ότι έχετε ορίσει σωστά τη γωνία έναυσης από τις μετρήσεις σας και την απεικόνιση στον παλμογράφο.
- Με τη βοήθεια του επιβλέποντος, εισάγετε το ωμικό φορτίο στην τιμή των 50Ω σε σειρά με το πηνίο στο κύκλωμα. Βεβαιωθείτε ότι η γωνία έναυσης έχει οριστεί στις 180° .



- Ελαττώστε σταδιακά τη γωνία έναυσης ως την ελάχιστη τιμή που έχετε υπολογίσει στην προεργασία και μετρήστε την ενεργό τιμή της τάσης εξόδου στη γωνία αυτή. Ποια είναι η φασική διαφορά μεταξύ τάσης και ρεύματος εισόδου στην κατάσταση αυτή;
- Αφού ολοκληρώσετε τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις σας, συμβουλευτείτε τον επιβλέποντα της άσκησης για την απενεργοποίηση του κυκλώματος.

Πίνακας 2: Εργαστηριακές μετρήσεις.

	Εργαστηριακές μετρήσεις – Μέρος Α, $R = 50 \Omega$, $L = 0 \text{ mH}$.					
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 36^\circ$	$\alpha = 72^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 144^\circ$
Ενεργός τιμή V_{so}						
Ενεργός τιμή I_{so}						
Ενεργός ισχύς P_{so}						
Φαινόμενη ισχύς στην είσοδο S						
Συντελεστής ισχύος στην είσοδο λ						
	Εργαστηριακές μετρήσεις – Μέρος Β, $R = 0 \Omega$, $L = 150 \text{ mH}$.					
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 144^\circ$			
Ενεργός τιμή V_{so}						
Ενεργός τιμή I_{so}						
Πλάτος ρεύματος εξόδου \hat{I}_{so}						



Έκθεση αναφοράς

1. Συμπληρώστε τους πίνακες υπολογισμών και μετρήσεων. Συγκρίνετε και σχολιάστε τη συνέπεια των μετρήσεων που λάβατε στο εργαστήριο με τις θεωρητικές τιμές των αντίστοιχων μεγεθών.
2. Υπολογίστε την ενεργό τιμή της τάσης εξόδου για την περίπτωση του ωμικού και την περίπτωση του (πλήρως) επαγωγικού φορτίου, για κάθε τιμή της γωνίας α .
3. Σχεδιάστε, με βάση τις μετρήσεις σας, τη γραφική παράσταση της μεταβολής της ενεργού ισχύος, ως συνάρτηση της γωνίας α για την περίπτωση του ωμικού φορτίου.
4. Ποια από τα μεγέθη ισχύος P , Q_L , D και S εμφανίζονται στην είσοδο του κυκλώματος στην περίπτωση του ωμικού φορτίου και ποια στην περίπτωση της ελεγχόμενης επαγωγής ($R = 0 \Omega$);
5. Ποια είναι η επιτρεπτή περιοχή ρύθμισης της γωνίας έναυσης α για τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος στις τρεις περιπτώσεις φορτίου που είδατε στο εργαστήριο;
6. Για τη λειτουργία με φορτίο $R = 0 \Omega$, $L = 150 \text{ mH}$, ποιο είναι το μέγιστο ενεργό (RMS) ρεύμα ενός θυρίστορ; Μπορείτε να υπολογίσετε το ενεργό (RMS) ρεύμα του θυρίστορ T_1 για τις τιμές της γωνίας α για τις οποίες έχετε καταγράψει τιμές για το συνολικό ενεργό ρεύμα εξόδου I_{so} ; Ποια είναι η σχέση του ενεργού ρεύματος ενός θυρίστορ με το ενεργό ρεύμα εξόδου στο κύκλωμα αυτό;
7. Περιγράψτε τη λειτουργία του κυκλώματος για ωμικό-επαγωγικό φορτίο με $R = 50 \Omega$, $L = 300 \text{ mH}$ και γωνία έναυσης $\alpha = 30^\circ$.
8. Το κύκλωμα του Σχ. 2 αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία ως Thyristor-Controlled Reactor (TCR) και συνήθως χρησιμοποιείται η σύνδεση τριών τέτοιων κλάδων σε συνδεσμολογία Δ για τριφασικά συστήματα. Ποια είναι η χρησιμότητα ενός τέτοιου κυκλώματος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο;

- Το μήκος της έκθεσης αναφοράς της εργαστηριακής άσκησης θα πρέπει να μην υπερβαίνει τις έξι (6) σελίδες συνολικά.
- Η προθεσμία υποβολής της έκθεσης αναφοράς είναι αυστηρά δύο (2) εβδομάδες μετά την αντίστοιχη παρουσία στο εργαστήριο. Εκπρόθεσμες εργασίες δεν θα γίνουν δεκτές.