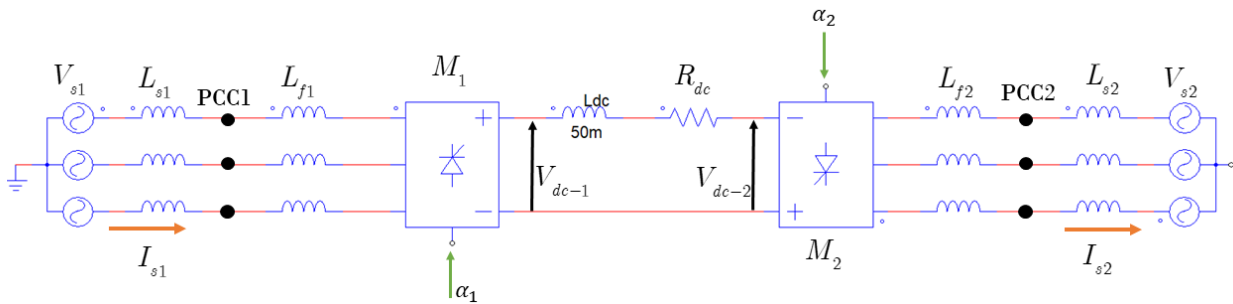


Εργασία στο μάθημα «Ηλεκτρονικά Ισχύος Ι»

Γενικά-Εισαγωγή



Σχ. 1

Η διάταξη του Σχήματος 1 δείχνει τα κύρια μέρη ενός AC/DC/AC συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δύο AC δικτύων της ίδιας ή διαφορετικής συχνότητας. Το DC μέρος απομονώνει τα δύο δίκτυα επιτρέποντάς τα να έχουν διαφορετικές συχνότητες και διαφορετικά μέτρα τάσεων-επομένως μπορούν να βρίσκονται και εκτός συγχρονισμού (προσέξτε ότι τα δυο AC δίκτυα δεν έχουν το ίδιο σύστημα αναφοράς τάσεων). Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανόρθωση και η αντιστροφή των τάσεων γίνονται μέσω 6-παλμικών τριφασικών διατάξεων με thyristors ενώ το DC μέρος (DC link) έχει συμπεριφορά πηγής ρεύματος λόγω της σχετικά μεγάλης αυτεπαγωγής L_{dc} .

Σήμερα, η τοπολογία αυτή έχει αντικατασταθεί σε μεγάλο μέρος από νέες τοπολογίες όπου στην θέση των μετατροπέων με thyristors υπάρχουν αυτοοδηγούμενοι μετατροπείς με IGBTs που λειτουργούν με συχνότητες μετάβασης της τάξης των αρκετών kHz, ενώ το DC-link φέρει πυκνωτές, επομένως λειτουργεί σαν πηγή τάσης (τέτοιες διατάξεις είναι αντικείμενο των Ηλεκτρονικών Ισχύος II).

Οι διατάξεις της μορφής του Σχ. 1 υπάρχουν ακόμη και σήμερα σε περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλης ισχύος (εκατοντάδων MW) λόγω της ιδιαίτερης ικανότητας των thyristors σε τέτοια επίπεδα ισχύος. Όμως οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούν 12-παλμικές γέφυρες για μείωση των αρμονικών ρεύματος και για επίτευξη υψηλών τάσεων.

Η συγκεκριμένη διάταξη του σχήματος είναι μια αρκετά απλοποιημένη αποτύπωση των πραγματικών διατάξεων και έχει εκπαιδευτικό χαρακτήρα.

Στόχοι της εργασίας είναι:

- Η κατανόηση της λειτουργίας των 6-παλμικών διατάξεων με thyristors σαν ανορθωτές και αντιστροφείς.
- Ο έλεγχος των γωνιών έναυσης σαν μέσον για τον έλεγχο των dc τάσεων και, έμμεσα, του dc ρεύματος.
- Η ανάλυση των κυματομορφών ρεύματος και τάσης
- Ο αναλυτικός προσδιορισμός των απωλειών στα thyristors
- Ο σχεδιασμός φίλτρων αρμονικών ρεύματος

Όλοι οι υπολογισμοί θα γίνουν αναλυτικά κάνοντας τις απαραίτητες παραδοχές/απλοποιήσεις. Η προσομοίωση μέσω του λογισμικού PSIM θα σας δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα αλλά θα λειτουργεί κυρίως ως σύγκριση με τους υπολογισμούς σας. Σημαντικές διαφορές θα υπάρξουν είτε επειδή κάνατε λάθος υπολογισμούς, είτε λάθος προσομοίωση, είτε και τα δύο!

Οι τιμές που αναφέρονται παρακάτω σε κίτρινο υπόβαθρο είναι παράμετροι διαφορετικοί για κάθε ομάδα εργασίας.

Περιγραφή

Στην διάταξη θεωρούμε μια χρονική στιγμή όπου γίνεται μεταφορά ισχύος από το δίκτυο 1 στο δίκτυο 2. Επομένως ο μετατροπέας 1 λειτουργεί ως ανορθωτής ενώ ο μετατροπέας 2 ως αντιστροφέας. Και οι δυο μετατροπείς είναι οδηγούμενοι από τα αντίστοιχα AC δίκτυα. Οι ισχύεις, τάσεις και ρεύματα που δίνονται παρακάτω αποτελούν στην ουσία σμίκρυνση (scaled-down) πραγματικών μεγεθών.

Η βάση για την ισχύ είναι $S_b = 100 \text{ kVA}$ και η βάση για την τάση $V_b = 400 \text{ V}$. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται ότι είναι τα ονομαστικά και για τους δυο μετατροπείς. Η μεταφερόμενη ισχύς στην DC είσοδο του μετατροπέα 2 (receiving converter) είναι $P_{dc-2} = \dots pu$. Οι απώλειες ισχύος στο dc-link είναι μικρότερες από $\dots\% \cdot P_{dc-2}$.

Τα AC δίκτυα 1 και 2, μπορούν να παρασταθούν σαν ισοδύναμα Thevenin με εσωτερικές τάσεις $V_{s1} = V_{s2} = 1 pu$, και εσωτερικές αντιδράσεις ωL_{s1} και ωL_{s2} . Η ισχύς βραχυκύκλωσης και των δύο δικτύων είναι $S_{sc-1} = S_{sc-2} = \dots pu$.

Για τον περιορισμό των αιχμών τάσης στα σημεία σύνδεσης των μετατροπέων με τα αντίστοιχα δίκτυα, εγκαθίστανται οι αυτεπαγωγές $L_{f1} = L_{f2} = 5\% \cdot Z_1$, όπου Z_1 είναι η ισοδύναμη φαινόμενη αντίδραση του κάθε μετατροπέα στην θεμελιώδη αρμονική και σε ονομαστική φόρτιση υπό ονομαστική τάση.

Ο μετατροπέας 2 (receiving converter) ελέγχεται (δηλαδή καθορίζει την γωνία έναυσης των thyristors του) έτσι ώστε να διατηρεί την τάση V_{dc-2} σταθερή, ενώ ο μετατροπέας 1 (sending converter) ελέγχεται για να προσδιορίζει το μέγεθος του DC ρεύματος, I_{dc} , και επομένως το μέγεθος της μεταφερόμενης ισχύος.

Η τάση V_{dc-2} θα θέλαμε να είναι η μέγιστη δυνατή, δηλαδή $1,35 \cdot V_{LL-2}$, όμως αυτό δεν είναι πρακτικά εφικτό. Έστω ότι $V_{dc-2} = \dots V$.

Ερώτημα 1: Για ποιους λόγους θέλουμε η τάση V_{dc-2} να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη;

Ερώτημα 2: Τι περιορίζει την αύξηση της V_{dc-2} στο μέγιστο θεωρητικό επίπεδο;

Ερώτημα 3: Γιατί ο μετατροπέας M2 στο Σχ.1 είναι αντίστροφα συνδεδεμένος;

Υπολογισμοί

Με βάση τα δεδομένα της εργασίας να γίνουν οι ακόλουθοι υπολογισμοί και συγκρίσεις:

1. Να υπολογισθεί το ρεύμα I_{dc}

2. Να υπολογισθεί η μέγιστη δυνατή γωνία έναυσης, α_2 , των thyristors του M2. Να προσδιορισθεί το σημείο φυσικής αγωγής (με βάση τις τάσεις V_{s2}) ως προς το οποίο αναφέρεται η γωνία έναυσης.
3. Να υπολογισθεί η γωνία μετάβασης u_2 στον M2.
4. Να υπολογισθεί η V_{dc-1} .
5. Να υπολογισθεί η γωνία έναυσης α_1 των thyristors του M1. Να προσδιορισθεί το σημείο φυσικής αγωγής (με βάση τις τάσεις V_{s1}) ως προς το οποίο αναφέρεται η γωνία έναυσης.
6. Να υπολογισθεί η γωνία μετάβασης u_1 στον M1.
7. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος συγκριτικός Πίνακας 1

Πίνακας 1		
	Υπολογισμοί	Προσομοίωση
I_{dc}		
V_{dc-1}		
V_{dc-2}		
α_1		
α_2		
u_1		
u_2		

8. Να υπολογισθεί προσεγγιστικά (δλδ αγνοώντας την μετάβαση) η μέση και η rms τιμή του ρεύματος σε ένα από τα thyristors κάθε μετατροπέα.
9. Να προσδιορισθεί μέσω της προσομοίωσης η μέση και η rms τιμή του ρεύματος σε ένα από τα thyristors κάθε μετατροπέα και να συμπληρωθεί ο ακόλουθος Πίνακας 2.

Πίνακας 2		
	Υπολογισμοί	Προσομοίωση
Μέσο ρεύμα thyristor M1		
Μέσο ρεύμα thyristor M2		
RMS ρεύμα thyristor M1		
RMS ρεύμα thyristor M2		

10. Να υπολογισθεί η μέγιστη ανάστροφη τάση σε ένα από τα thyristors κάθε μετατροπέα.
11. Να προσδιορισθεί μέσω της προσομοίωσης η μέγιστη ανάστροφη τάση σε ένα από τα thyristors κάθε μετατροπέα και να συγκριθεί με τους υπολογισμούς στο (10).
12. Με βάση τα (8) και (10) να επιλεγεί από καταλόγους κατασκευαστών το βέλτιστο thyristor.
13. Να προσδιορισθεί η μαθηματική έκφραση του ρεύματος στην φάση 1 του M1 για μια περίοδο θεωρώντας σαν αρχή του χρόνου τον θετικό μηδενισμό της φασικής τάσης 1 της πηγής V_{s1} .

14. Θεωρώντας μια περίοδο (20ms) της θεμελιώδους αρμονικής να προσδιορίσετε τα τμήματα της V_{dc-1} συναρτήσει των φασικών και πολικών τάσεων της V_{s1}
15. Να υπολογισθούν προσεγγιστικά οι απώλειες σε κάθε μετατροπέα χρησιμοποιώντας δεδομένα από (12) και υπολογισμούς από το (8)
16. Να γίνει έλεγχος για τον M2 σχετικά με το χρονικό διάστημα σβέσης των thyristors που επιλέξατε.
17. Να ελέγξετε αν οι αιχμές στις πολικές τάσεις: i) στους ακροδέκτες των M1 και M2, και ii) στα σημεία PCC1 και PCC2 αντίστοιχα συμβαδίζουν με τις αναλογίες των L_{f1} , L_{s1} και L_{f2} , L_{s2} .
18. Να γίνει ανάλυση αρμονικών (μέχρι την 19^η αρμονική) στα AC ρεύματα I_{s1} και I_{s2} στα δύο δίκτυα αντίστοιχα (επιλέξτε όποια από τις τρεις φάσεις θέλετε). Να γίνει θεωρητικός υπολογισμός αγνοώντας τις μεταβάσεις και

Πίνακας 3				
	I_{s1} Θεωρητικά	I_{s1} Προσομοίωση	I_{s2} Θεωρητικά	I_{s2} Προσομοίωση
h=1				
h=5				
h=7				
.....				

στην συνέχεια υπολογισμός μέσω προσομοίωσης. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος Πίνακας 3.

19. Να προσδιορισθεί η άεργος ισχύς στην θεμελιώδη αρμονική (Q_1) και η άεργος ισχύς παραμόρφωσης (D) στα δίκτυα 1 και 2 (στα σημεία των τάσεων V_{s1} και V_{s2}). Αρχικά να γίνει θεωρητικός υπολογισμός αγνοώντας τις μεταβάσεις στα ρεύματα και στην συνέχεια υπολογισμός μέσω του λογισμικού προσομοίωσης. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος συγκριτικός Πίνακας 4.

Πίνακας 4		
	Θεωρητικά	Προσομοίωση
Q_{1-1}		
D_1		
Q_{1-2}		
D_2		

20. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που αναφέρεται στο Παράρτημα 1, να σχεδιάσετε ένα φίλτρο αρμονικών ρεύματος με άεργο ισχύ στην θεμελιώδη αρμονική Q_{1-1} και συχνότητα συντονισμού στην αρμονική $f_h=4.3$ με Q_{1-1} και συχνότητα συντονισμού στην αρμονική $f_h=4.3$.
21. Να συνδεθεί το φίλτρο στο PCC1 και να υπολογισθούν μέσω προσομοίωσης οι αρμονικές στο ρεύμα I_{s1} , η Q_{1-1} , η D_1 . Να γίνει σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των Πινάκων 3 και 4.
22. Να περιγράψετε λεκτικά τι θα κάνατε για την αντιστροφή της ροής ισχύος.

Παράρτημα 1

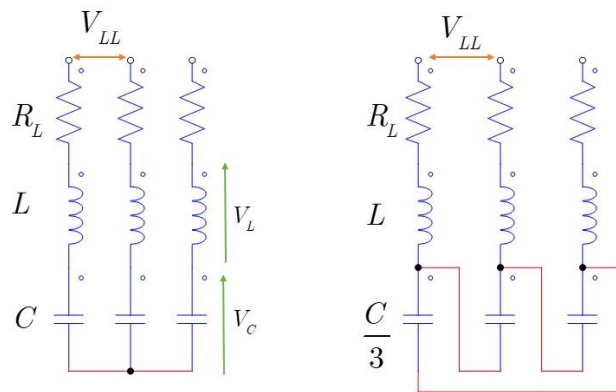
Σχεδιασμός παθητικού φίλτρου αρμονικών ρεύματος

Η πιο απλή έκδοση παθητικού φίλτρου αρμονικών ρεύματος είναι η εμφανιζόμενη στο Σχ. Π1. Αποτελείται ουσιαστικά από την εν σειρά σύνδεση ενός πηνίου και ενός πυκνωτή. Στην θεμελιώδη αρμονική το πηνίο έχει αντίδραση $X_L = \omega_1 \cdot L$ και ο πυκνωτής $X_C = 1/(\omega_1 \cdot C)$. Το πηνίο έχει εσωτερική αντίσταση R_L . Η συχνότητα συντονισμού του φίλτρου είναι

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Στην συχνότητα f_c , το φίλτρο παρουσιάζει σχεδόν μηδενική αντίδραση. Πρακτικά η αντίδρασή του γίνεται ίση με R_L . Επομένως, εάν στους ακροδέκτες του φίλτρου εμφανισθεί έστω και μικρή τάση συχνότητας f_c το ρεύμα του γίνεται πολύ μεγάλο-ουσιαστικά περιορίζεται μόνον από την R_L , η οποία όμως είναι πολύ μικρή σε σχέση με την X_L .

Για αυτόν τον λόγο επιλέγουμε την συχνότητα συντονισμού κοντά, αλλά όχι ακριβώς- με τη χαρακτηριστική συχνότητα της αρμονικής ρεύματος που θέλουμε αυτό να απορροφά.



Σχ. Π.1. Τριφασικό παθητικό φίλτρο αρμονικών ρεύματος. Πυκνωτής σε αστέρα (αριστερά). Πυκνωτής σε τρίγωνο (δεξιά).

Εάν ορίσουμε ως $f_h = \frac{f_c}{50}$ την συχνότητα συντονισμού σε per unit, μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι,

$$f_h = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \Rightarrow X_C = f_h^2 \cdot X_L$$

Η συνολική αντίδραση του φίλτρου (αγνοώντας την R_L) είναι

$$X_F = X_C - X_L = (f_h^2 - 1) \cdot X_L$$

Εάν η πολική τάση στους ακροδέκτες του φίλτρου είναι V_{LL} , η τριφασική άεργος ισχύς του στην θεμελιώδη αρμονική είναι,

$$Q_{f1} = \frac{V_{LL}^2}{X_F} = \frac{V_{LL}^2}{f_h^2 - 1 \cdot X_L}$$

Επομένως, αν αποφασισθεί η f_h και η Q_{f1} , μπορεί να προσδιορισθεί, από την ανωτέρω σχέση, η X_L και στην συνέχεια η X_C , επομένως τα L και C .

Η ωμική αντίσταση του πηνίου, R_L είναι συνήθως τέτοια ώστε οι απώλειες στο φίλτρο να είναι της τάξης του 5% της ονομαστικής άεργης ισχύος του στην θεμελιώδη αρμονική.

Κατά την λειτουργία με ονομαστική τάση στους ακροδέκτες του φίλτρου, η τάση επάνω στο πηνίο είναι

$$V_L = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \frac{X_L}{X_F}$$

ενώ επάνω στον πυκνωτή

$$V_C = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \frac{X_C}{X_F}$$

Επειδή, $X_C > X_F$, η τάση στον πυκνωτή είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση του φίλτρου!

Η συχνότητα f_h επιλέγεται με βάση τον ακόλουθο συμβιβασμό: Πρέπει να είναι μεν μικρότερη της χαρακτηριστικής αρμονικής ρεύματος που θέλουμε να απορροφά το φίλτρο έτσι ώστε αυτό να μην υπερφορτισθεί από τυχόν ύπαρξη σημαντικής αρμονικής τάσης, αλλά όχι πολύ μικρότερη διότι τότε θα πάψει να λειτουργεί ως φίλτρο! Αυτός ο συμβιβασμός απαιτεί εμπειρία και καλή γνώση των συνθηκών όσον αφορά την αρμονική παραμόρφωση των ρευμάτων αλλά και των τάσεων. Επομένως εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες του κυκλώματος. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε το εξής: Εάν θέλουμε το φίλτρο να απορροφά την 5^η αρμονική του ρεύματος τότε $4,2 \leq f_h \leq 4,7$. Η ακριβής τιμή του f_h προσδιορίζεται από την ανάλυση του εκάστοτε κυκλώματος.

Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι για συχνότητες $f < f_h$ το φίλτρο έχει χωρητική συμπεριφορά, ενώ για μεγαλύτερες έχει επαγωγική.