

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

(2019-2020)

1^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

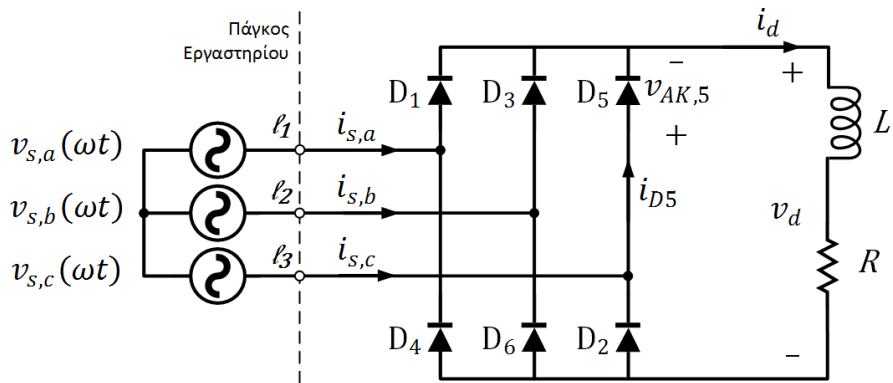
Τριφασική Ανόρθωση με Διόδους

Ομάδα: Παύλος Καζάκος

Κωνσταντίνος Παπαϊωάννου

Χρήστος Τσούφης

Εκτέλεση Εργαστηρίου: 10/12/2019 12:00 – 14:00



Στόχος της άσκησης

Στόχος της άσκησης είναι η κατανόηση της λειτουργίας του μετατροπέα τριφασικής ανόρθωσης με διόδους.

Προεργασία άσκησης

A Μέρος: Δίνονται: $V_{s,ab} = 50 \text{ V}$, $f_s = 50 \text{ Hz}$, $R = 50 \Omega$, $L = 0 \text{ mH}$

B Μέρος: Ίδιες τιμές με πριν με τη διαφορά ότι στο κύκλωμα συνδέεται ωμικό – επαγωγικό φορτίο με $L \rightarrow \infty$

	Υπολογισμοί προεργασίας		Εργαστηριακές μετρήσεις	
	$L = 0 \text{ mH}$	$L \rightarrow \infty$	$L = 0 \text{ mH}$	$L = 450 \text{ mH}$
Μέση τιμή V_d	67,52 V	67,52 V		
Μέση τιμή i_d	1,35 A	1,35 A		
Ενεργός τιμή $i_{s,a}$		1,10 A		
Ενεργός τιμή $i_{s1,a}$		1,05 A		
Φαινόμενη ισχύς στην είσοδο S		95,45 VA		
Ενεργός ισχύς στην είσοδο P_s		91,18 W		
Ενεργός ισχύς στην είσοδο P_d	91,18 W	91,18 W		
Άεργος ισχύς Q_1 λόγω μετατόπισης στην είσοδο	0 VAR	0 VAR		
Συντελεστής μετατόπισης στην είσοδο $\cos\phi_1$	1	1		
Συντελεστής ισχύος στην είσοδο λ		0,954		
Ισχύς παραμόρφωσης στην είσοδο D		28,33 VA		

Εκθεση Αναφοράς:

1. Να συμπληρώσετε τις τιμές του Πίνακα 1 με τις εργαστηριακές σας μετρήσεις.
√
2. Να εξηγήσετε ποιες τιμές του Πίνακα 1 μετρήσατε με τη βοήθεια οργάνων του εργαστηρίου και πώς μετρήσατε την κάθε τιμή (με ποιο όργανο, σε ποια ένδειξη). Να υποδείξετε επίσης ποιες τιμές προήλθαν από υπολογισμούς με βάση τις μετρήσεις σας και να δείξετε τους υπολογισμούς σας.

Αρχικά, έγινε μια εισαγωγική αναφορά στα στοιχεία που ήταν απαραίτητα για την εργαστηριακή άσκηση. Έπειτα έγινε αντιστοιχία των στοιχείων με το σχήμα που δόθηκε και υλοποιήθηκε η συνδεσμολογία ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις.

Το εργαστήριο αποτελούνταν από δυο μέρη. Στο Α Μέρος υπήρχε μόνο ωμική αντίσταση ενώ στο Β Μέρος προστέθηκε και πηνίο με $L = 450 \text{ mH}$.

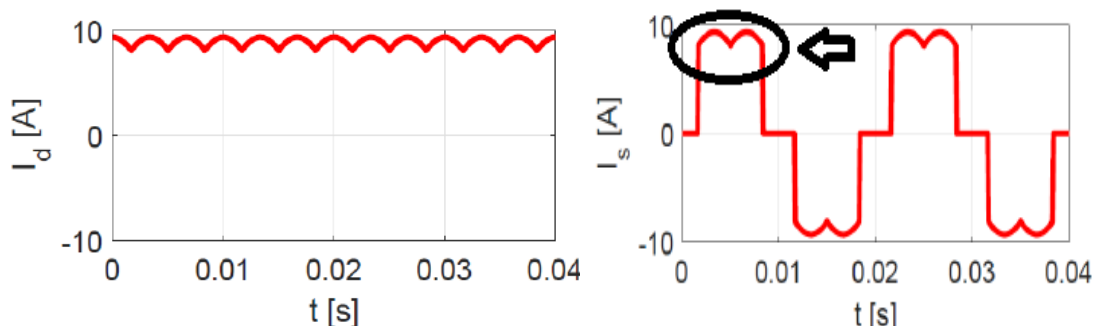
Μετρήθηκε το ρεύμα εισόδου με χρήση αμπερομέτρου σε σειρά με το φορτίο, το ρεύμα εξόδου με χρήση του Νόμου του Ohm μετά από μέτρηση της τάσης στα άκρα της αντίστασης και η τάση εξόδου με χρήση πολυμέτρου παράλληλα στα άκρα του φορτίου (R και L). Ακόμη, μετρήθηκε η αντίσταση με ένα πολύμετρο και είχε τιμή $R = 52,4 \Omega$. Επιπλέον, μετρήθηκε η τάση $V_{LL} = 48,89 \text{ V}$ με χρήση πολυμέτρου με ακροδέκτες τοποθετημένους σε τυχαίες φάσεις. Τα λοιπά μεγέθη υπολογίστηκαν μέσω των μετρήσεων που προέκυψαν.

	Εργαστηριακές μετρήσεις	
	$L = 0 \text{ mH}$	$L = 450 \text{ mH}$
Μέση τιμή V_d	$V_d = 66,2 \text{ V}$	$V_d = 66,2 \text{ V}$
Μέση τιμή i_d	$i_d = \frac{V_d}{R} = 1,26 \text{ A}$	$i_d = \sqrt{\frac{3}{2}} \times i_{s,a} = 1,2 \text{ A}$
Ενεργός τιμή $i_{s,a}$	$i_{s,a} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times i_d = 1,05 \text{ A}$	$i_{s,a} = 0,98 \text{ A}$
Ενεργός τιμή $i_{s1,a}$		$i_{s1,a} = \frac{\sqrt{6} \times i_d}{\pi} = 0,93 \text{ A}$
Φαινόμενη ισχύς στην είσοδο S	$S = \sqrt{2} \times V_{s,ab} \times i_d = 90,56 \text{ VA}$	$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times i_{s,a} = 84,53 \text{ VA}$
Ενεργός ισχύς στην είσοδο P_s		$P_s = 3 \times \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times V_{s,ab} \times i_d = 79,44 \text{ W}$
Ενεργός ισχύς στην είσοδο P_d	$P_d = V_d \times i_d = \frac{V_{o,rms}^2}{R} = 86,47 \text{ W}$	$P_d = V_d \times i_d = \frac{V_{o,rms}^2}{R} = 79,94 \text{ W}$
Άεργος ισχύς Q_1 λόγω μετατόπισης στην είσοδο	$Q_1 = 0 \text{ VAR}$	$Q_1 = 0 \text{ VAR}$
Συντελεστής μετατόπισης στην είσοδο $\cos\phi_1$	$\cos\phi_1 = 1$ ($\phi_1 = 0$ / απουσία μη γραμμικών στοιχείων)	$\cos\phi_1 = 1$ ($\phi_1 = 0$)
Συντελεστής ισχύος στην είσοδο λ		$\lambda = \frac{P_s}{S} = 0,94$
Ισχύς παραμόρφωσης στην είσοδο D		$D = \sqrt{S^2 - P_s^2 - Q^2} = 28,89 \text{ VA}$

3. Συγκρίνετε και σχολιάστε τη συνέπεια των μετρήσεων που λάβατε στο εργαστήριο με τις θεωρητικές τιμές των αντίστοιχων μεγεθών.
- Η απόκλιση στην τάση εξόδου V_d προκαλείται λόγω της πτώσης τάσης των διόδων αλλά και στα σφάλματα των κυκλωματικών στοιχείων.
 - Η απόκλιση στο ρεύμα εξόδου i_d προκύπτει εξαιτίας της αντίστασης R (50Ω στα δεδομένα και $52,4\Omega$ στο πείραμα) αλλά και στην απόκλιση της τάσης εξόδου V_d από τα δεδομένα.
 - Η απόκλιση του ρεύματος εισόδου οφείλεται στο σφάλμα των οργάνων μέτρησης και της διάταξης των στοιχείων.
 - Τα πραγματικά μεγέθη της τάσης εισόδου, του φορτίου και της συχνότητας είχαν απόκλιση σε σχέση με τα δοθέντα θεωρητικά.
 - Τα όργανα για τη μέτρηση των μεγεθών παρουσιάζουν ποσοστιαίο σφάλμα.
 - Κατά την διάρκεια των αριθμητικών πράξεων προκύπτουν σφάλματα μέσω των στρογγυλοποιήσεων.
4. Εξηγήστε τη διαφορά των μετρήσεων dc και rms τιμών για τα μεγέθη της τάσης και του ρεύματος στην πλευρά του φορτίου του μετατροπέα. Για ποιο μέγεθος και σε ποια περίπτωση ταυτίζονται οι τιμές αυτές;

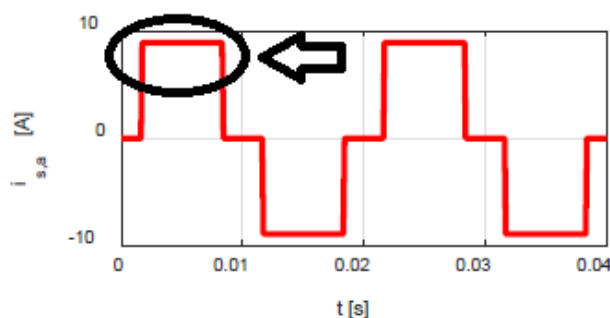
A Μέρος:

Παρατηρείται ότι η DC και η RMS τιμή παρουσιάζουν μικρή διαφορά. Πιο συγκεκριμένα, για το V_d προκύπτει DC ίση με $66,2\text{ V}$ και RMS ίση με $67,31\text{ V}$, ενώ για το i_d η DC είναι ίση με $1,26\text{ A}$ και RMS ίση με $1,28\text{ A}$ ($V_{o,rms} = \frac{I_{o,rms}}{R}$). Αυτό συμβαίνει λόγω της πολύ καλής ανόρθωσης που δημιουργεί σήμα με μικρή κυμάτωση.



B Μέρος:

Παρατηρείται ότι η DC και η RMS τιμή των V_o και i_d ταυτίζονται. Αυτό συμβαίνει γιατί η ύπαρξη πηνίου δημιουργεί στο ρεύμα i_s περισσότερες αρμονικές (άρα και μείωση της ενεργού τιμής του) και σε συνδυασμό με την ανόρθωση προκύπτει σταθερό σήμα.



5. Υπολογίστε την ενεργό τιμή της τάσης στο φορτίο.

Επειδή η τάση στο φορτίο είναι συνεχής, η τιμή της είναι σταθερή, οπότε θα είναι και η ενεργός τιμή.

A Μέρος:

$$\frac{V_{o,rms}^2}{R} = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) i_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_o^2(t)}{R} dt \Rightarrow V_{o,rms}^2 = \frac{1}{\frac{\pi}{6}} \int_0^{\frac{\pi}{6}} (\sqrt{2}V_{LL} \cos(\omega t))^2 d\omega t =$$

$$= \frac{6V_{LL}^2}{\pi} \int_0^{\pi/6} 2\cos^2(\omega t) d\omega t = \frac{6V_{LL}^2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)$$

Άρα, $V_{o,rms} = 67,31 \text{ V}$

B Μέρος:

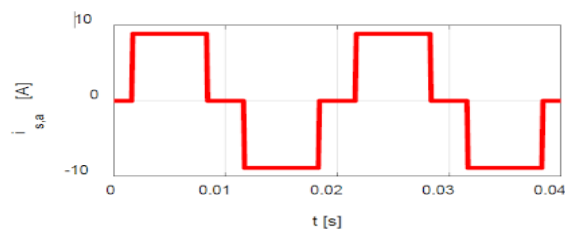
Το ρεύμα εξομαλύνεται πλήρως και προκύπτει από τον εξής τύπο:

$$\frac{V_{o,rms}^2}{R} = v_d i_d = \frac{v_d^2}{R}$$

Άρα $V_{o,rms} = V_d = 66,2 \text{ V}$

6. Υπολογίστε το πλάτος της θεμελιώδους αρμονικής συνιστώσας του ρεύματος εισόδου για την περίπτωση που $L \rightarrow \infty$. Υπολογίστε επίσης τα πλάτη της 3ης, 5ης, 7ης, 9ης, 11ης και 13ης αρμονικής συνιστώσας στο ρεύμα εισόδου για την ίδια περίπτωση φορτίου.

Για $L \rightarrow \infty$ το ρεύμα του φορτίου i_d είναι σταθερό και το $i_{s,a}$ έχει την εξής κυματομορφή:



Για τον υπολογισμό του πλάτους της θεμελιώδους αρμονικής συνιστώσας του ρεύματος εισόδου, αλλά και των υπολοίπων αρμονικών θα πρέπει να εκφραστεί το $i_{s,a}$ συναρτήσει αυτών. Άρα:

$$i_{s,a}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_{s,n,a} \sin(n\omega t)$$

Η παραπάνω εξίσωση προκύπτει από σειρά Fourier για $a_n=0$ (περιττή κυματομορφή)

Επίσης:

$$I_{s,n,a} = \frac{1}{T/2} \int_0^T i_{s,a}(t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad (\text{προκύπτει από σειρά Fourier})$$

$$I_{s,n,a} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} i_d \sin(n\omega t) d\omega t + \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} -i_d \sin(n\omega t) d\omega t \right] =$$

$$= \frac{i_d}{\pi n} \left(-\cos\left(\frac{5n\pi}{6}\right) + \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) + \cos\left(\frac{11n\pi}{6}\right) - \cos\left(\frac{7n\pi}{6}\right) \right)$$

Ο συντελεστής του ημιτόνου αποτελεί το πλάτος κάθε αρμονικής συνιστώσας.

$$i_{s1,a} = 1,49 \text{ A}$$

$$i_{s3,a} = 0 \text{ A}$$

$$i_{s5,a} = -0,3 \text{ A}$$

$$i_{s7,a} = 0,21 \text{ A}$$

$$i_{s9,a} = 0 \text{ A}$$

$$i_{s11,a} = 0,13 \text{ A}$$

$$i_{s13,a} = 0,11 \text{ A}$$

7. Υπολογίστε τη γωνία σύνθετης αντίστασης του φορτίου και εξηγήστε τη σχέση της με τον συντελεστή μετατόπισης $\cos\phi_I$ και το συντελεστή ισχύος λ στην είσοδο της ανορθωτικής διάταξης.

Σε φορτίο RL ισχύει:

$$\tan(\phi) = \frac{\omega L}{R} \rightarrow \phi = \arctan \frac{2\pi \times 50 \times 450 \text{ mH}}{52,4 \Omega} \rightarrow \phi \approx 70^\circ$$

Καθώς το ρεύμα εισέρχεται στο φορτίο, λόγω του πηνίου υπόκειται σε διαφορά φάσης σε σχέση με την τάση(η τάση προηγείται αυτού).

Η απόδοση ενεργούς ισχύος ελαττώνεται όταν το ρεύμα περάσει από το φορτίο.

Τέλος, η γωνία ϕ δεν έχει σχέση με τον συντελεστή μετατόπισης $\cos\phi_I$ και τον συντελεστή ισχύος λ καθώς αυτοί αναφέρονται σε ημιτονοειδείς κυματομορφές, ενώ στο φορτίο η τάση και το ρεύμα δεν είναι ημιτονοειδείς.

Στην άσκηση αυτή μετρήθηκε η αντίσταση ίση με $R = 52,4 \Omega$ σε σειρά με ένα πηνίο $L = 450 \text{ mH}$. Αυτά τα μεγέθη έχουν μόνο DC συνιστώσα και επίσης, το πηνίο δρα ως βραχυκύκλωμα. Οπότε παρ'όλο που ισχύει $Z = R + j\omega$, θα ισχύει $Z = R$, διότι έχουμε βραχυκύκλωμα του πηνίου.

Επομένως, η σύνθετη αντίσταση Z δεν έχει φανταστικό μέρος κι έτσι υπολογίζεται ότι:

$$\phi_Z = \tan^{-1} \frac{\text{Im}\{Z\}}{\text{Re}\{Z\}} = 0.$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι $\cos\phi_I = 1 \rightarrow \phi_I = 0$ και το $\lambda = 0,95$. Συνεπώς, $\phi_I = \phi_Z = 0$. Ακόμη, ο συντελεστής ισχύος είναι μονάδα αφού το πηνίο που θα μπορούσε να προκαλέσει καθυστέρηση είναι βραχυκυκλωμένο.

Επιπλέον, αφού δεν υπάρχει πηνίο, δηλαδή μη γραμμικό στοιχείο, δεν θα υπάρχει και άεργος ισχύς. Αντιθέτως, υπάρχει ισχύς παραμόρφωσης, πράγμα που σημαίνει ότι η φαινόμενη ισχύς δεν είναι ίση με την μονάδα.

$$\text{Άρα: } \lambda = 0,95 = \frac{P_s}{S} \neq \cos\phi_I = \cos\phi_Z = 1$$