

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1 – ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΙΟΔΟΥΣ



DECEMBER 14, 2020

ΘΟΔΩΡΗΣ ΑΡΑΠΗΣ – EL18028
ΛΑΟΥΡΕΝΤΙΑΝ ΓΚΟΥΜΕ – EL18014
ΚΡΙΣ ΚΟΥΤΣΗ – EL18905



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1 - ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΙΟΔΟΥΣ

Μέρος Α:

1. Το δίκτυο διανομής της Ελλάδας τροφοδοτεί τους τελικούς καταναλωτές με τριφασική, εναλλασσόμενη, ημιτονοειδή τάση στα 400V πολική και 230V φασική (αναφερόμενοι στις RMS τιμές). Αυτές είναι οι ονομαστικές τιμές, καθώς λόγω διάφορων παραγόντων (μήκος καλωδίων, φθορές καλωδίων κ.λπ.) οι πραγματικές τιμές εντοπίζονται σε εύρος $\pm 10\%$ αυτών. Η ονομαστική τιμή της συχνότητας ανέρχεται στα 50Hz.

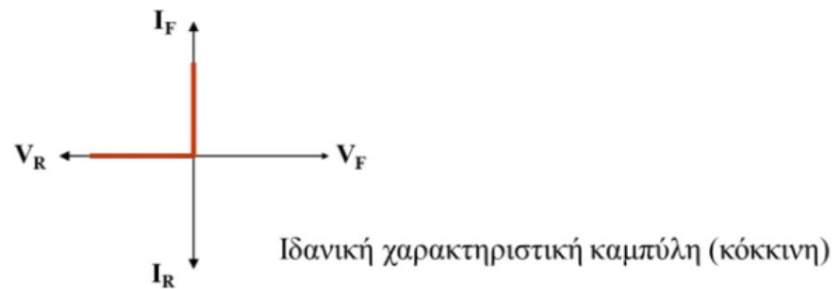
2. Μία δίοδος περνάει σε αγωγή, όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων της (ανόδου και καθόδου) υπερβαίνει την τιμή της τάσης κατωφλίου, αφού πρωτίστως την έχει πολώσει ορθά. Αντιθέτως, εμποδίζει τη διέλευση ρεύματος είτε όταν είναι ανάστροφα πολωμένη, είτε όταν είναι μεν ορθά πολωμένη, αλλά η τάση ορθής πόλωσης είναι μικρότερη της τάσης κατωφλίου.

3. Η δίοδος αποτελεί μη γραμμικό στοιχείο, όπως φαίνεται από την σχέση που διέπει το ρεύμα που την διαρρέει (I) συναρτήσει της τάσης στα άκρα της (V_d):

$$I = I_s \left(e^{\frac{V_d}{nV_T}} - 1 \right), \text{ όπου:}$$

- I το ρεύμα της διόδου
- I_s το ρεύμα κορεσμού
- V_d η τάση στα άκρα της διόδου
- V_T η θερμική τάση
- n ο παράγοντας εκπομπής

Η χαρακτηριστική καμπύλη για την ιδανική δίοδο παρουσιάζεται παρακάτω:



Δηλαδή η ιδανική δίοδος λειτουργεί σαν διακόπτης, κλειστός όταν είναι ορθά πολωμένη και ανοιχτός όταν είναι ανάστροφα.

4.

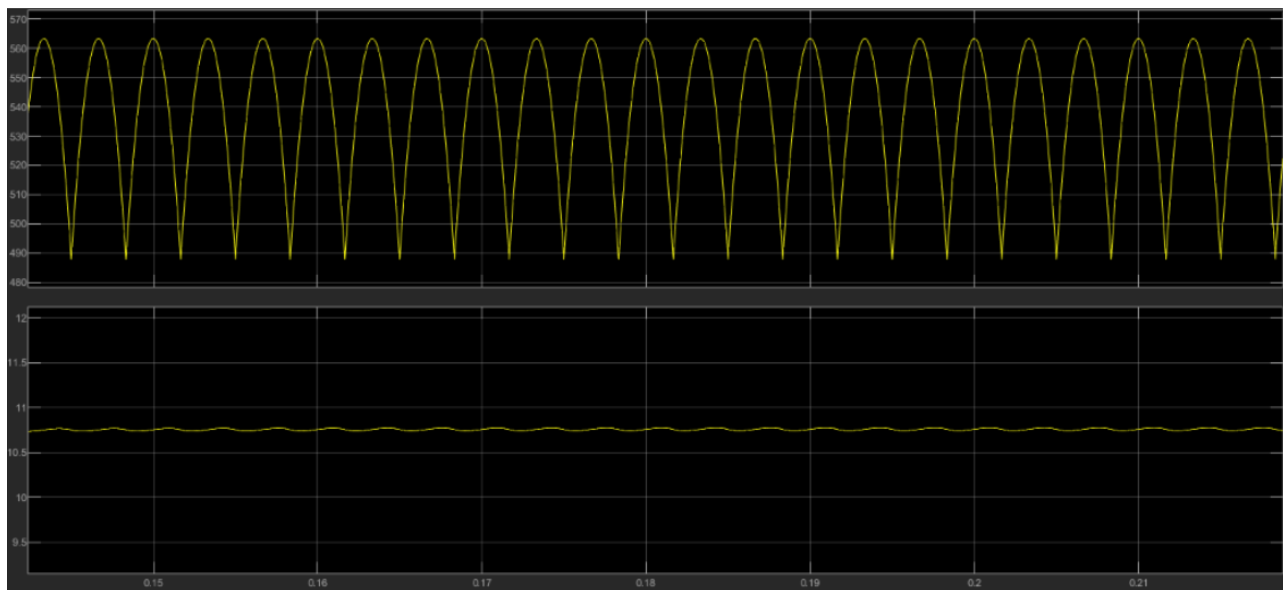
- Στιγμιαία ισχύς: $p(t) = v(t) \cdot i(t)$, ορίζεται ως το γινόμενο των στιγμιαίων χρονικών τιμών τάσης και ρεύματος
- Ενεργός ισχύς: $P = \bar{p}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$, ορίζεται ως η μέση τιμή της στιγμιαίας ισχύος και για περιοδικά σήματα δίνεται από την ανωτέρω σχέση
- Φαινόμενη Ισχύς: $S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$, ορίζεται ως το μέτρο της μιγαδικής ισχύος και ισούται με το γινόμενο της ενεργού τιμής της τάσης και του ρεύματος
- Μη-Ενεργός Ισχύς: $N = \sqrt{S^2 - P^2}$, εκφράζεται ως η διανυσματική αφαίρεση της ενεργού ισχύος από την μιγαδική ισχύ, με το μέτρο της να δίνεται παραπάνω. Αποτελεί το μη ωφέλιμο μέρος της φαινόμενης ισχύος.

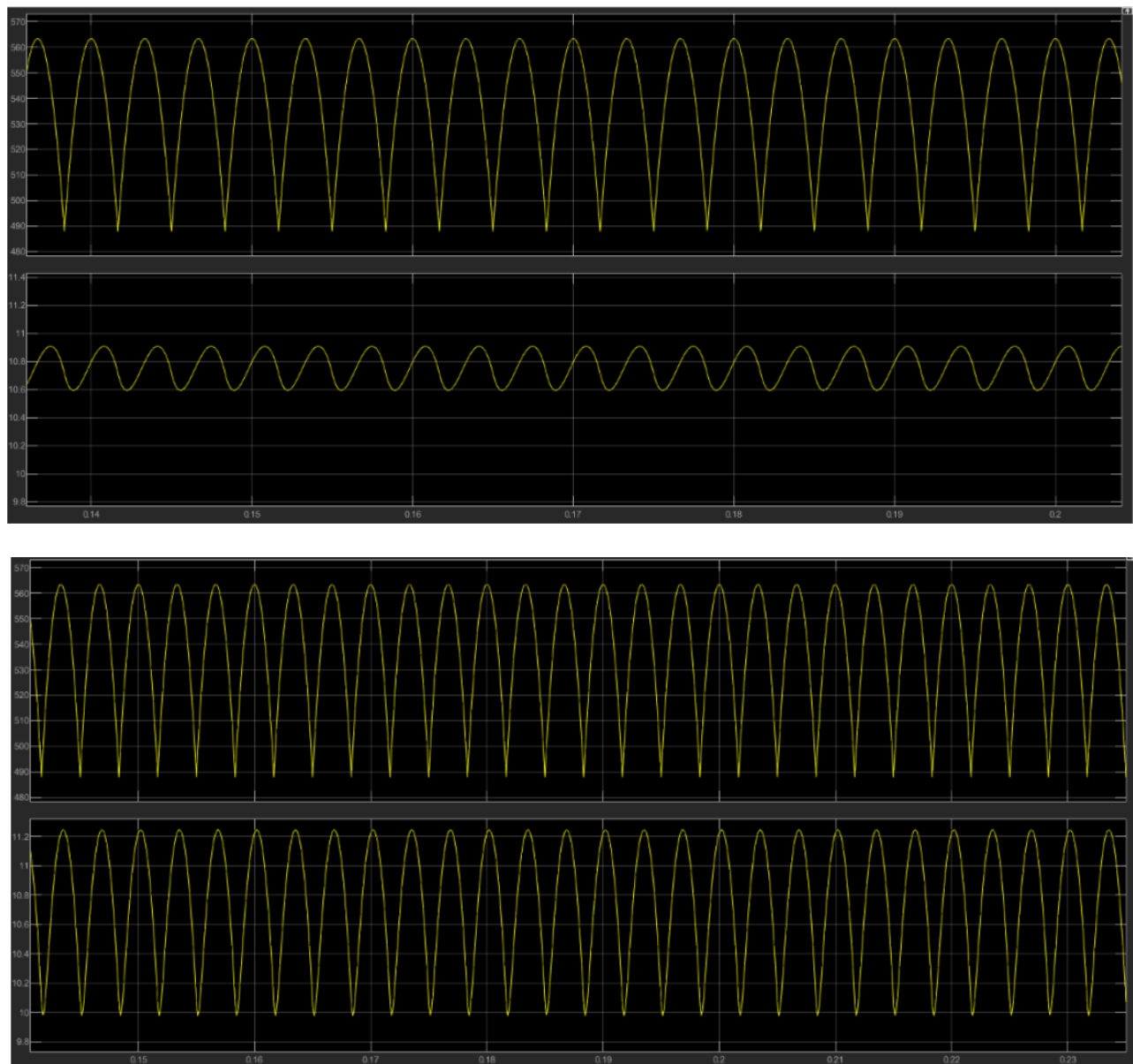
5. Η άεργος ισχύς Q είναι αποτέλεσμα της φασικής μετατόπισης μεταξύ αρμονικών τάσης και ρεύματος, οι οποίες βρίσκονται στην ίδια συχνότητα, ενώ η ισχύς παραμόρφωσης D προκύπτει λόγω αρμονικών ρεύματος και τάσης οι οποίες βρίσκονται σε διαφορετικές συχνότητες.

Μέρος Β:

1. Παρατηρούμε ότι η περίοδος δικτύου είναι $0.02s$ (αναμενόμενο για συχνότητα δικτύου στα $50Hz$) και στη διάρκειά της εμφανίζονται 6 παλμοί της τάσης εξόδου ή ισοδύναμα του ρεύματος εξόδου, εφόσον η αυτεπαγωγή του πηνίου δεν είναι πολύ μεγάλη (παρατηρείται από την προσομοίωση ότι για τιμές μικρότερες από $L = 0.01H$ η μορφή της κυματομορφής του ρεύματος είναι ίδια με αυτήν της τάσης) . Η συχνότητα της κυμάτωσης της τάσης εξόδου ανέρχεται σε: $6 \cdot f_{\text{δικτύου}} = 6 \cdot 50Hz = 300Hz$.

2. Η τοποθέτηση αυτεπαγωγής L δε μεταβάλλει την τάση εξόδου, αλλοιώνει ωστόσο το ρεύμα εξόδου, καθώς όσο μεγαλύτερη η τιμή της τόσο πιο σταθερό γίνεται. Σταθεροποιείται μάλιστα στη μέση του τιμή, για θεωρητικά άπειρη τιμή της αυτεπαγωγής. Η επαλήθευση μπορεί να γίνει εύκολα μέσω Matlab όπως φαίνεται παρακάτω:





Στο επάνω μέρος εμφανίζεται η τάση εξόδου και στο κάτω το ρεύμα εξόδου. Από πάνω προς τα κάτω επιλέχθηκαν τιμές $L = 1H, 0.1H, 0.01H$.

Η είσοδος του πηνίου, δεν αλλοιώνει το ποσοστό κατανάλωσης ενεργού ισχύος από την αντίσταση, αλλά μεταβάλλει ελάχιστα την παραγόμενη ενεργό ισχύ, μέσω του όρου της πρώτης αρμονικής του ρεύματος εισόδου. Πράγμα αναμενόμενο, καθώς το πηνίο παλινδρομεί (ιδανικά) μόνο άεργο ισχύ. Ενδεικτικά έχουμε:

- a) $L = 0H \rightarrow P_d = 5798.8769W$
- b) $L = 0.00001H \rightarrow P_d = 5799.1180W$
- c) $L = 0.001H \rightarrow P_d = 5799.2793W$
- d) $L = 0.1H \rightarrow P_d = 5788.9069W$
- e) $L = 1H \rightarrow P_d = 5788.6733W$

3. Το σήμα κατά τον κλασικό ορισμό από τη θεωρία σημάτων είναι συνεχές (continuous) στο διάστημα $[0, 2ms]$, αφού παίρνει τιμές για κάθε χρονική στιγμή t εκεί. Επιπρόσθετα, με την σημασιολογία των σημάτων που χρησιμοποιούμε ειδικά (συνεχές και εναλλασσόμενο), είναι επίσης συνεχές (direct) αφού έχει μη μηδενική μέση τιμή.

Είδαμε ότι σε μία περίοδο δικτύου χωράνε 6 παλμοί της τάσης εξόδου. Το ρεύμα εξόδου για ύπαρξη μόνο ωμικού φορτίου είναι ίδιας μορφής με μέτρο διαιρεμένο κατά την τιμή του φορτίου, σε σχέση με αυτό της τάσης. Ας υποθέσουμε πως μελετάμε τάση:

a. Η μέγιστη τιμή του σήματος ανέρχεται στις 10 μονάδες τάσης και αυτή είναι ίση με $V_{πολική,max} = \sqrt{2}\sqrt{3} V_{φασική,RMS}$.

b. $V_{mean} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{πολική,max} \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) dt = \frac{30}{\pi}$ μονάδες. Η εισαγωγή φάσης $\varphi = \frac{\pi}{3}$ γίνεται έτσι ώστε να παρουσιάζεται μέγιστο στα μισά του λοβού από 0 ως $\frac{T}{6}$.

$$c. V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[V_{πολική,max} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \right]^2 dt} = 10 \sqrt{\frac{1}{2} + 3 \frac{\sqrt{3}}{4\pi}}$$

d. Παρατηρούμε ότι οι 6 παλμοί απεικονίζονται σε χρόνο 2ms. Επομένως, η συχνότητα του δικτύου είναι $\frac{1}{2ms} = 500Hz$. Η RMS τιμή του σήματος εισόδου είναι η $V_{φασική,RMS}$ και με δεδομένο ότι $V_{πολική,max} = \sqrt{2}\sqrt{3} V_{φασική,RMS} = 10$ μονάδες τάσης, προκύπτει $V_{φασική,RMS} = \frac{5\sqrt{6}}{3}$ μονάδες τάσης.

Μέρος Γ:

1.

	Θεωρητικοί Υπολογισμοί		Μετρήσεις Προσομοίωσης	
	$L = 0mH$	$L \rightarrow \infty$	$L = 0mH$	$L = 1H$
Μέση Τιμή V_d (V)	537.9908	537.9908	537.9705	537.9700
Μέση Τιμή i_d (A)	10.7598	10.7598	10.7594	10.7594
Ενεργός Τιμή $i_{s,a}$ (A)		8.7853	8.792	8.7842
Ενεργός Τιμή $i_{s1,a}$ (A)		8.3894	8.4	8.3792
Φαινόμενη ισχύς στην είσοδο S (VA)		6061.8570	6066.4654	6061.8901
Ενεργός ισχύς στην είσοδο P_s (W)		5788.686	5798.4794	5788.2441
Ενεργός ισχύς στο φορτίο P_d (W)	5798.8769	5788.6733	5798.4801	5788.2436
Άεργος ισχύς Q_1 λόγω μετατόπισης στην είσοδο (VAR)	0	0	-0.0086	1.5352
Συντελεστής μετατόπισης στην είσοδο $\cos\varphi_1$	1	1	0.9999	0.9999
Συντελεστής ισχύος στην είσοδο λ		0.9549	0.9558	0.955
Ισχύς παραμόρφωσης στην είσοδο D (VA)		1799.2289	1783.1547	1798.0004

2. Όπου χρησιμοποιείται ο συμβολισμός V_s και I_s , εννοείται $V_{\text{φασική,RMS}}$ και $I_{\text{φασική,RMS}}$ αντίστοιχα.

Για τους θεωρητικούς υπολογισμούς:

- **Μέση τιμή V_d :** Χρησιμοποιήθηκε και για τις 2 περιπτώσεις πηνίων η σχέση $V_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \sqrt{3} V_s$ (όπου $V_s = 230V$), όπως απεδείχθη στο μάθημα.
- **Μέση τιμή I_d :** Και για τις 2 περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ο νόμος του Ωμ: $I_d = \frac{V_d}{R}$. Για την περίπτωση του άπειρου πηνίου, αυτό δικαιολογείται, καθώς στην Μόνιμη Κατάσταση, την οποία και εξετάζουμε, η μέση τιμή της τάσης στα άκρα του πηνίου είναι μηδέν σε μία περίοδο. Για το μηδενικό πηνίο η χρήση του νόμου δεν απαιτεί κάποια εξήγηση.
- **Ενεργός Τιμή $I_{s,a}$:** Αποδείξαμε μέσω άσκησης, πως στον 3Φ ανορθωτή διόδων πλήρους γέφυρας με σταθερό φορτίο ρεύματος I_d , η RMS τιμή του φασικού ρεύματος εισόδου είναι ίση με $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$.
- **Ενεργός Τιμή $I_{s1,a}$:** Μέσω σύγκρισης της ενεργού ισχύος εισόδου και εξόδου παίρνουμε: $3V_s I_s \cos(\varphi_1) = V_d \cdot I_d$, από όπου και προκύπτει (για $\varphi_1 = 0$), ότι $I_{s1,a} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$.
- **Φαινόμενη Ισχύς στην είσοδο S :** Προκύπτει ως το άθροισμα της φαινόμενης ισχύος που παράγει η κάθε πηγή, άρα $S = 3V_s I_s$
- **Ενεργός Ισχύς στην είσοδο P_s :** Δε παράγει όλο το ρεύμα ενεργό ισχύ, παρά μόνο αυτό που είναι στην ίδια αρμονική συχνότητα με την τάση, επομένως, για την είσοδο συνολικά: $P_s = 3V_s I_{s,1} \cos(\varphi_1)$
- **Ενεργός Ισχύς στο φορτίο P_d :** Υπολογίζεται ως η μέση τιμή της στιγμιαίας καταναλωθείσας από το ωμικό φορτίο ισχύος. Έτσι έχουμε, για μηδενικό πηνίο: $P_d = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{12}} v_R(t) i_R(t) dt =$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{12}} \sqrt{2} \sqrt{3} V_s \cos(\omega t) \sqrt{2} \sqrt{3} \frac{V_s}{R} \cos(\omega t) dt$$
 αφού για μηδενικό πηνίο το ρεύμα που διαρρέει το ωμικό φορτίο βρίσκεται μέσω νόμου

του Ω και έχουμε έτσι το τελικό αποτέλεσμα $P_d = \frac{72V_s^2}{R} \left[\frac{\pi + 3\sin(\frac{\pi}{3})}{24\pi \text{ rad/s}} \right]$.

Εξετάζοντας τώρα το **άπειρο πηνίο** παρατηρούμε ότι το ρεύμα εξόδου είναι σταθερό και ίσο με τη μέση τιμή του, επομένως θα έχουμε:

$$P_d = \frac{1}{T} \int_0^T V_R(t) I_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2}\sqrt{3}V_s \cos(\omega t) I_d dt, \text{ το οποίο τε-}$$

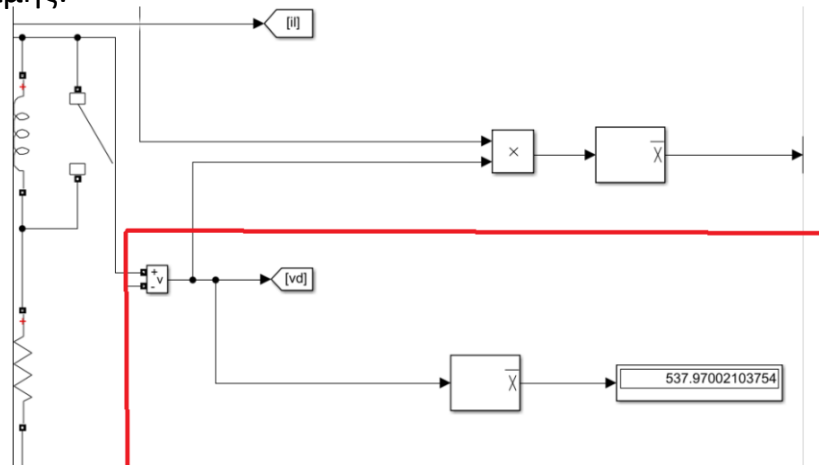
$$\text{λικά μας δίνει αποτέλεσμα ίσο με } P_d = \frac{6\sqrt{6}V_s I_d \sin(\frac{\pi}{6})}{\pi \text{ rad/s}}$$

- **Άεργος Ισχύς Q_1 , λόγω μετατόπισης στην είσοδο:** Παρατηρούμε από τις κυματομορφές ότι δεν εντοπίζεται κάποια φασική μετατόπιση μεταξύ της πρώτης αρμονικής του ρεύματος και της τάσης εισόδου, επομένως: $\varphi_1 = 0 \Rightarrow \sin(\varphi_1) = 0 \Rightarrow Q_1 = V_s I_s \sin(\varphi_1) = 0$.
- **Συντελεστής μετατόπισης στην είσοδο $\cos(\varphi_1)$:** Εύκολα με βάση τα παραπάνω προκύπτει ίσος με τη μονάδα.
- **Συντελεστής Ισχύος λ :** Από τον ορισμό του ως πηλίκο ενεργού ισχύος προς φαινόμενης έχουμε: $\lambda = \frac{P_s}{S} = \frac{3}{\pi}$
- **Ισχύς παραμόρφωσης στην είσοδο D :** Εύκολα υπολογίζεται από την σχέση: $D = \sqrt{S^2 - P_s^2 - Q^2}$.

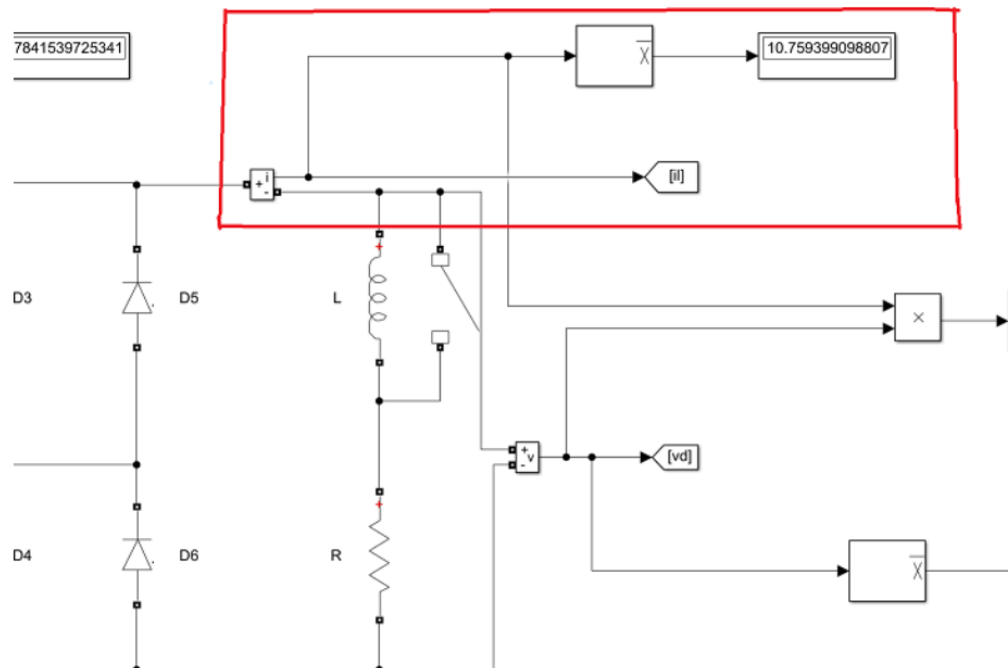
Για τις μετρήσεις της προσομοίωσης:

Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για ανοιχτό διακόπτη και πηνίο $L = 1H$. Τα αντίστοιχα για $L = 0H$ βρίσκονται από τις ίδιες διατάξεις/λειτουργίες με κλειστό όμως διακόπτη.

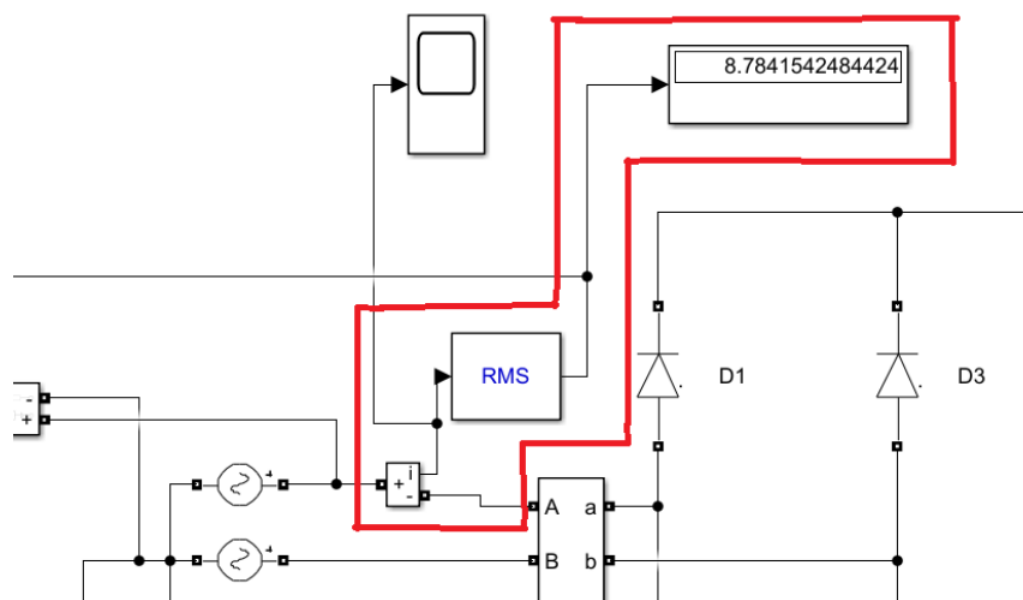
- **Μέση τιμή V_d :** Λαμβάνουμε την τάση εξόδου v από τα άκρα του σύνθετου φορτίου (RL) και περνάμε το αποτέλεσμα μέσα από μπλοκ μέσης τιμής.



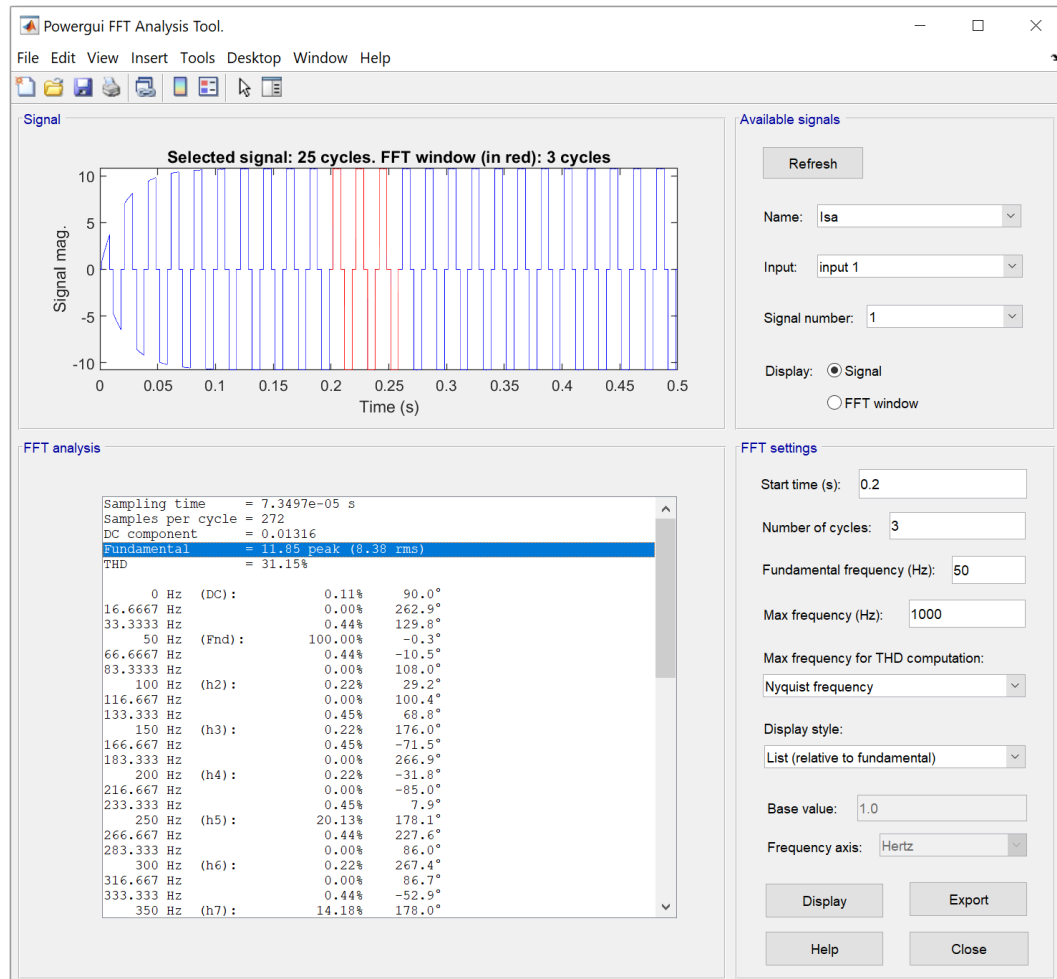
- **Μέση τιμή I_a :** Όμοια με τη μέση τιμή της τάσης, μόνο που εδώ επιλέγουμε αντί για την τάση μεταξύ των άκρων του σύνθετου φορτίου, το ρεύμα που το διαρρέει.



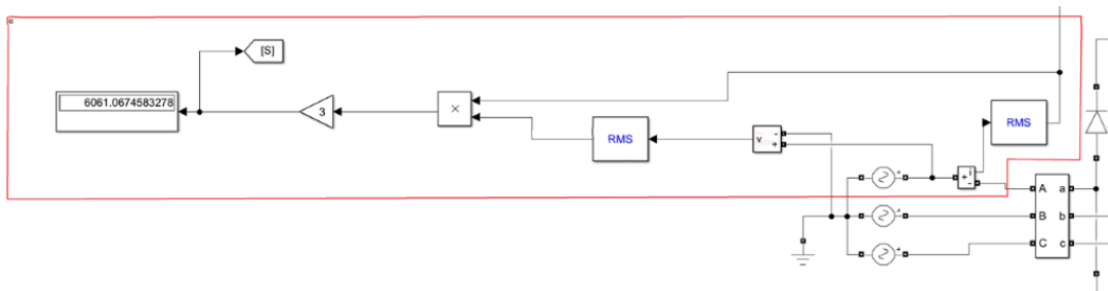
- **Ενεργός Τιμή $I_{s,a}$:** Παίρνουμε το ρεύμα της πρώτης φάσης και το βάζουμε ως input σε ένα RMS-block.



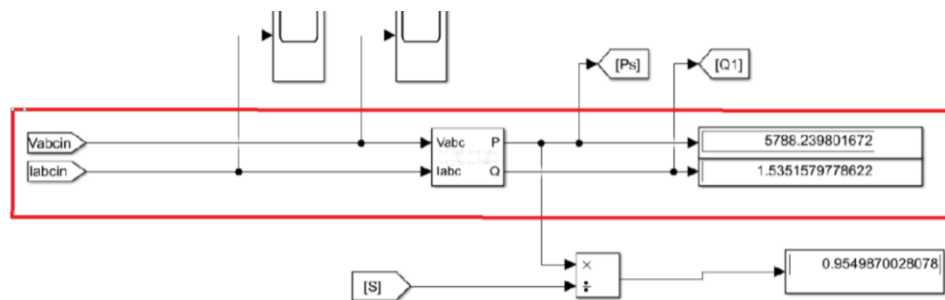
- **Ενεργός Τιμή $I_{s1,a}$:** Με το κατάλληλο εργαλείο ανάλυσης Fourier και τις απαραίτητες ρυθμίσεις βρίσκουμε τη ζητούμενη τιμή. Επιλέχθηκε Start Time το 0.2s ώστε να βρισκόμαστε στη μόνιμη κατάσταση και να έχει παρέλθει η επίδραση των μεταβατικών φαινομένων. Στον κλειστό διακόπτη μπορεί να ληφθεί ως χρόνος έναρξης το 0s, καθώς εκεί δεν έχουμε μεταβατικά φαινόμενα.



- **Φαινόμενη Ισχύς στην είσοδο S:** Βάσει ορισμού, παίρνουμε την τάση εισόδου μιας φάσης και βρίσκουμε την RMS τιμή της. Στη συνέχεια, παίρνουμε το ρεύμα εισόδου μιας φάσης ως είσοδο και ως έξοδο την RMS τιμή του. Αφού βρούμε το γινόμενο τους μέσω του product block, το πολλαπλασιάζουμε επί 3, αφού στο συγκεκριμένο κύκλωμα έχουμε συμμετρική τροφοδοσία. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται σε ένα display block.



- **Ενεργός Ισχύς στην είσοδο P_s και Άεργος Ισχύς Q_1 , λόγω μετατόπισης στην είσοδο:** Εισάγουμε την συνολική είσοδο (τριφασική τάση και ρεύμα) σε κατάλληλο block το οποίο μας δίνει στην έξοδο την ενεργό και την άεργο ισχύ της εισόδου. Η λειτουργία του block φαίνεται κάτω από το κύκλωμα. (παρατηρούμε μικρή απόκλιση από τις θεωρητικές τιμές, καθώς η προσομοίωση εμφανίζει μια πολύ μικρή διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της πρώτης αρμονικής του ρεύματος).

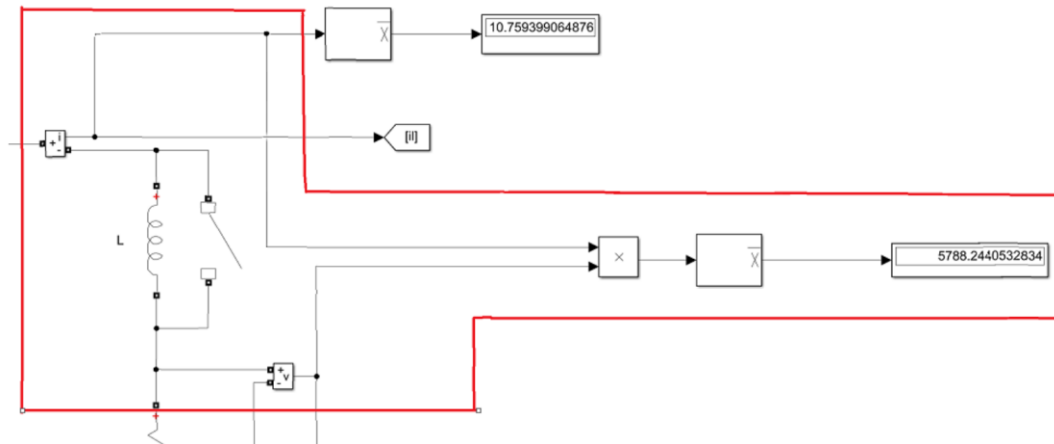


$$P = 3 \times \frac{|V_1|}{\sqrt{2}} \times \frac{|I_1|}{\sqrt{2}} \times \cos(\varphi)$$

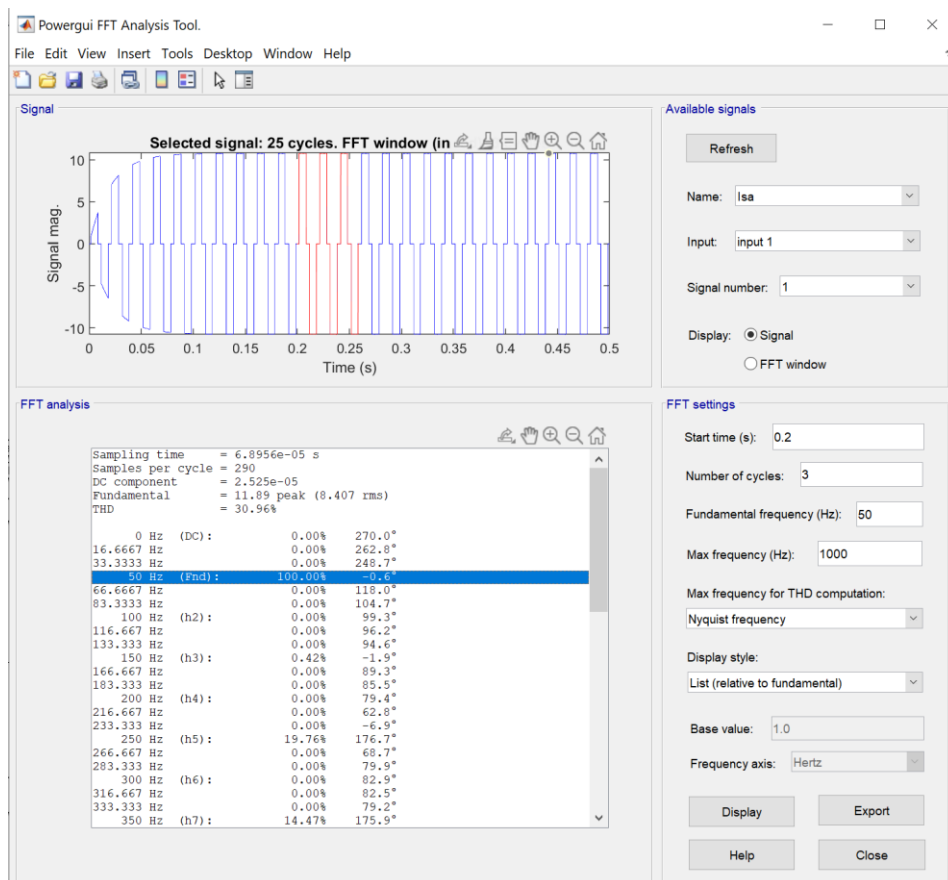
$$Q = 3 \times \frac{|V_1|}{\sqrt{2}} \times \frac{|I_1|}{\sqrt{2}} \times \sin(\varphi)$$

$$\varphi = \angle V_1 - \angle I_1$$

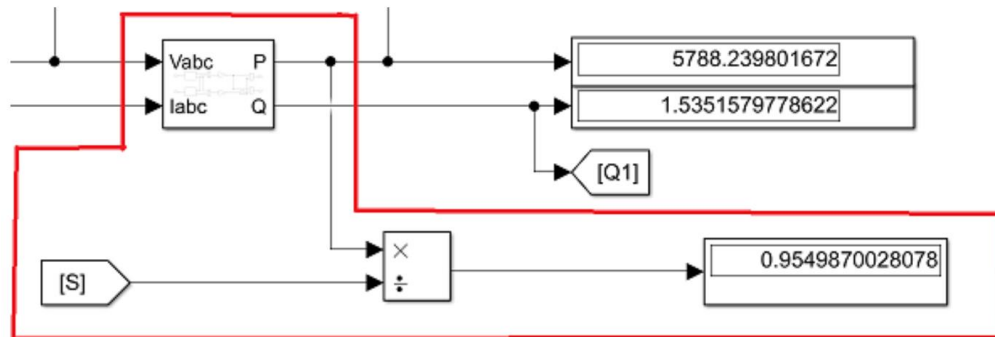
- **Ενεργός Ισχύς στο φορτίο P_d :** Αφού πολλαπλασιάσουμε τις στιγμιαίες τιμές της τάσης στα άκρα του (ωμικού) φορτίου με το ρεύμα που το διαρρέει, βρίσκουμε την μέση τιμή του γινομένου, το οποίο και αποτελεί την ενεργό ισχύ του φορτίου R .



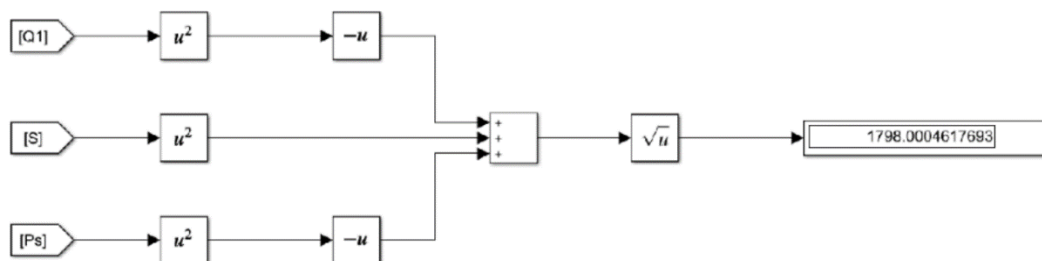
- Συντελεστής μετατόπισης στην είσοδο $\cos(\varphi_1)$:** Εκτελώντας Fourier ανάλυση στο ρεύμα εισόδου, βλέπουμε την φάση της πρώτης αρμονικής του ρεύματος, επομένως η φ_1 θα βρίσκεται ως (φάση τάσης)-(φάση 1ης αρμονικής ρεύματος), όπου η φάση της τάσης είναι ίση με μηδέν (έστω ότι μελετάμε την $V_{s,a}$). Παρακάτω, η φάση της πρώτης αρμονικής είναι -0.6° , άρα $\varphi_1 = 0 - (-0.6) = 0.6^\circ$, όπου $\cos(\varphi_1) = 0.999945 \approx 1$.



- **Συντελεστής Ισχύος λ :** Βάζουμε ως input τον αριθμητή P_s και τον παρονομαστή S σε ένα product block κατάλληλα τροποποιημένο ώστε να υλοποιεί διαίρεση μεταξύ των εισόδων του και λαμβάνουμε έτσι την επιθυμητή έξοδο.

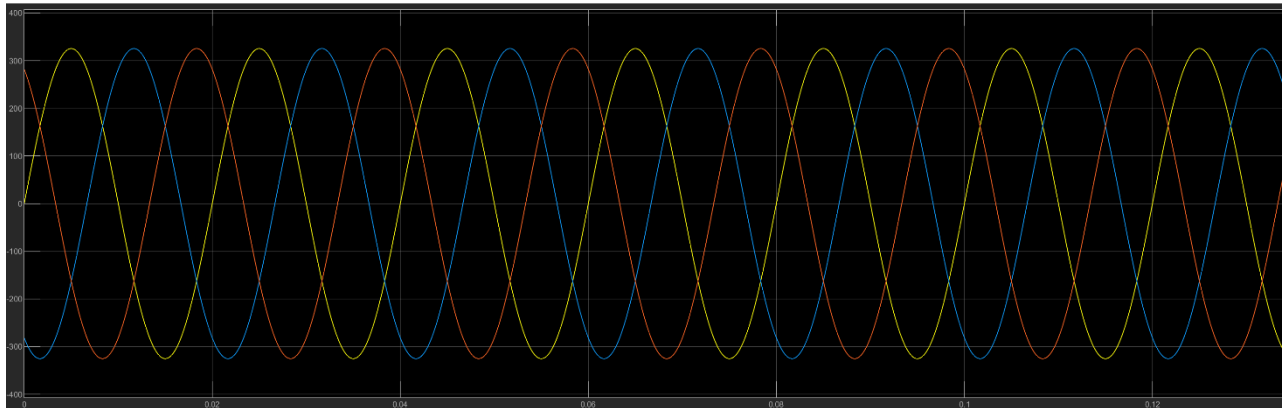


- **Ισχύς παραμόρφωσης στην είσοδο D :** Αρχικά τετραγωνίζουμε κάθε μία από τις ποσότητες S , Q_1 , P_s και παίρνουμε τις αντίθετες από τις 2 τελευταίες παραγόμενες τιμές. Στη συνέχεια, προσθέτουμε τις ποσότητες αυτές, και παίρνοντας την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος, έχουμε την σχέση ορισμού του D .

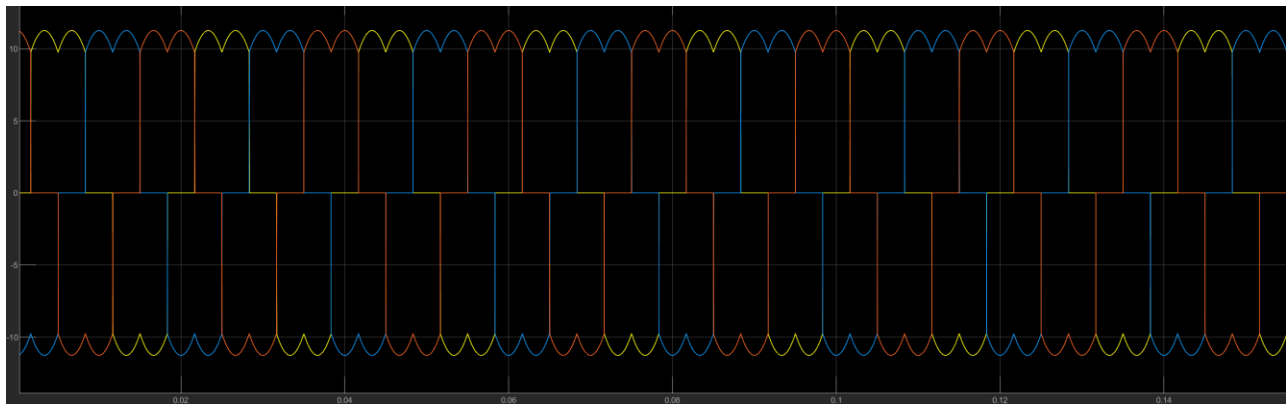


3. Παρουσιάζονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος εισόδου και εξόδου για το $L = 0H$ (κλειστό διακόπτη) και $L = 1H$ (ανοιχτό διακόπτη):

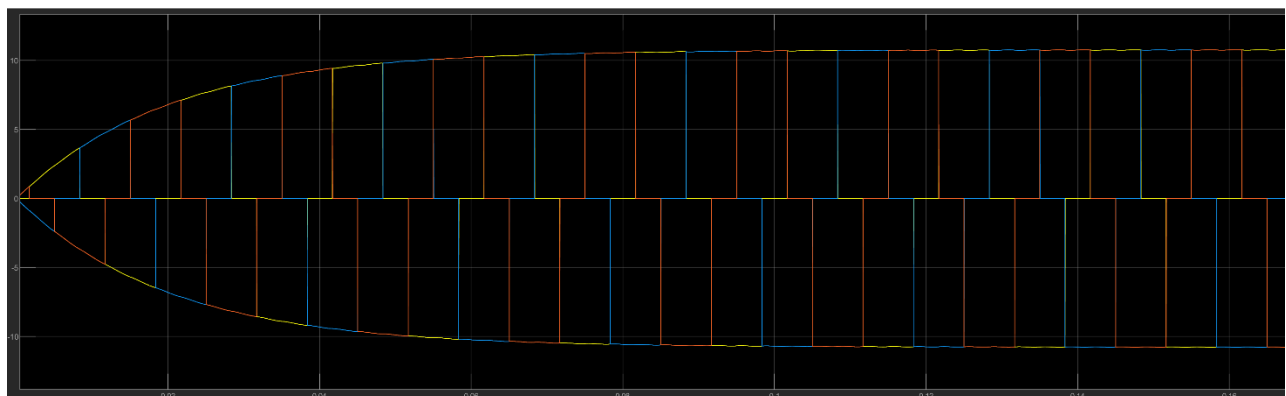
A) Είσοδος:



Τάση εισόδου, ανεξάρτητη του φορτίου στην έξοδο, με μέγιστη τιμή $230\sqrt{2}V$.

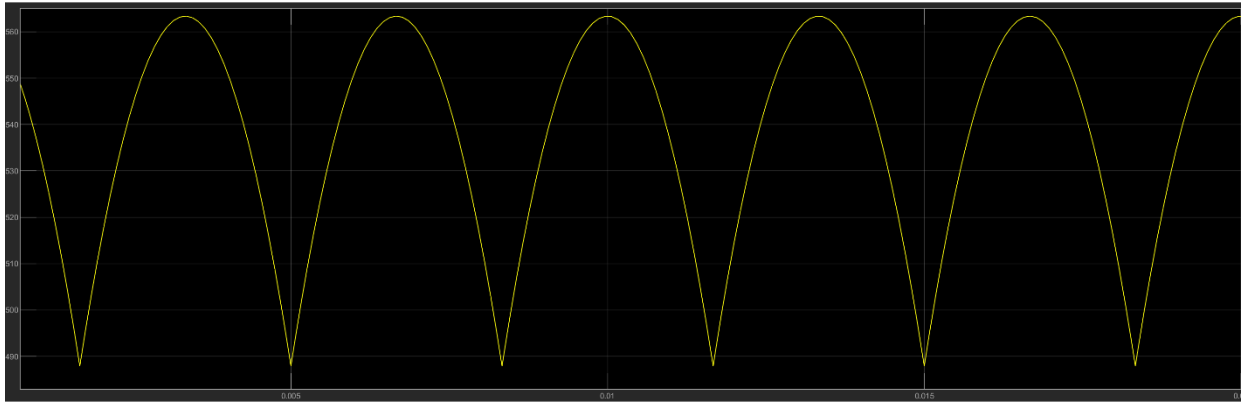


Ρεύμα εισόδου για μηδενικό πηνίο στην έξοδο (κλειστό διακόπτη).

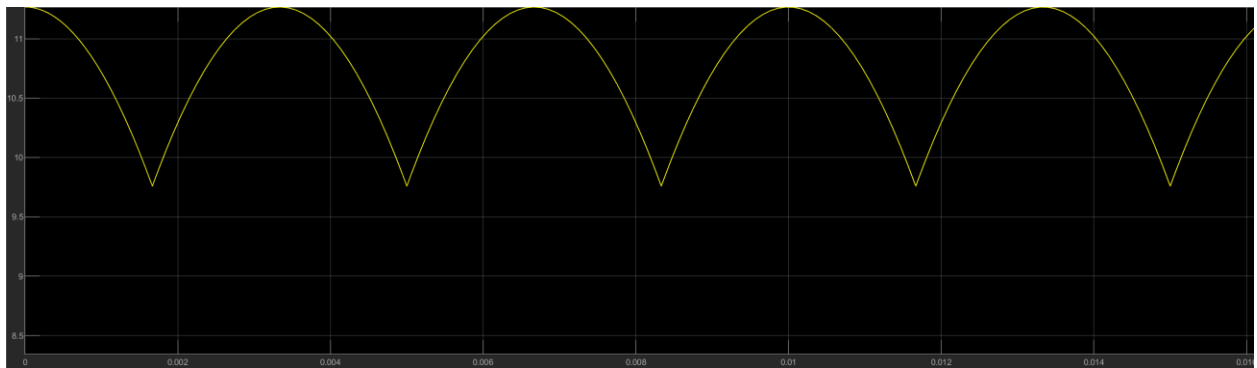


Ρεύμα εισόδου για πηνίο με αυτεπαγωγή $L = 1H$ στην έξοδο (ανοιχτό διακόπτη). Παρατηρούμε ότι μέχρι περίπου το $0.1s$ έχουμε μεταβατικά φαινόμενα, μέχρι να φτάσουμε στην μόνιμη κατάσταση.

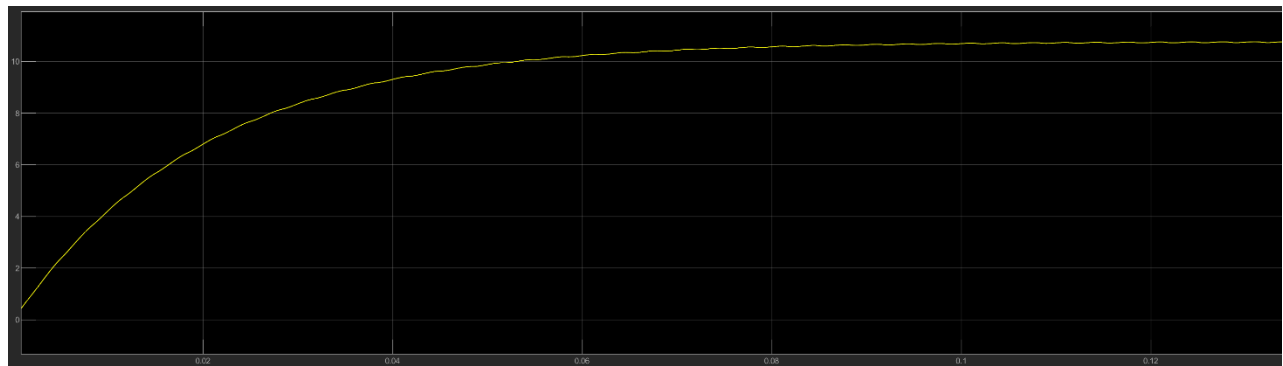
Β) Έξοδος:



Η ανορθωμένη τάση εξόδου. Παραμένει ανεπηρέαστη από την ύπαρξη ή μη του πηνίου.

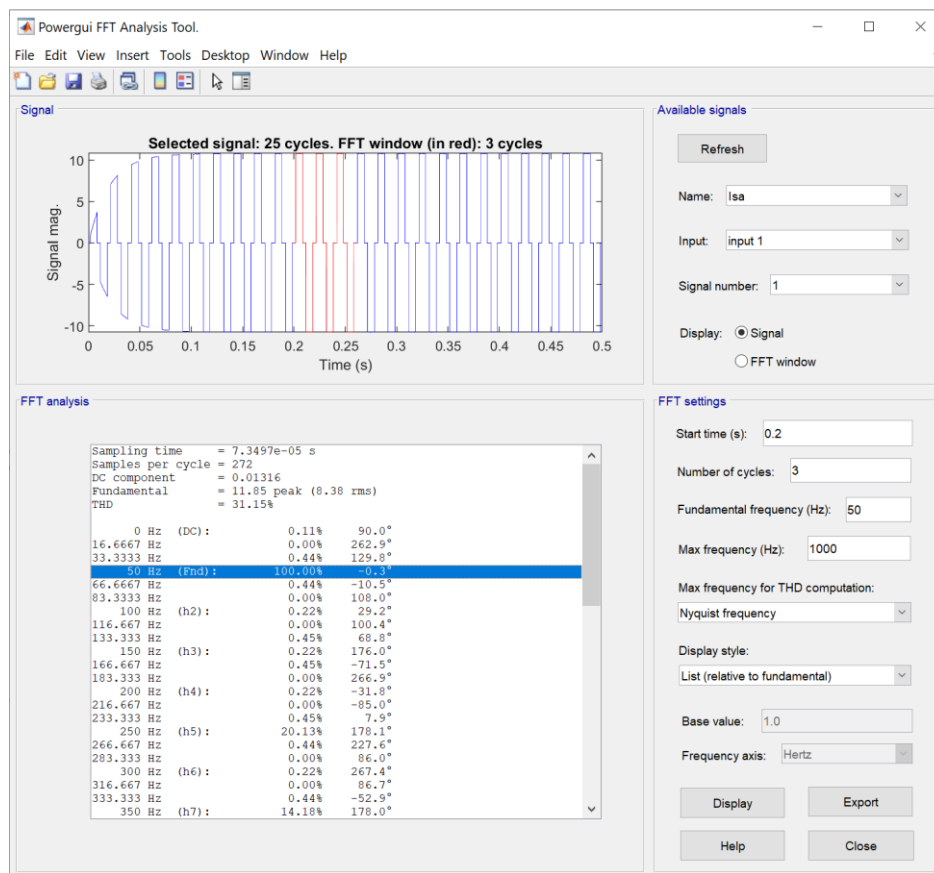


Το ανορθωμένο ρεύμα εξόδου για $L = 0$. Είναι ίδιας μορφής με την τάση εξόδου, με μέγιστη, ωστόσο, τιμή αυτή της τάσης προς την αντίσταση.



Το ρεύμα εξόδου για πηνίο αυτεπαγωγής $L = 1H$. Παρατηρούμε και πάλι ότι μέχρι περίπου τα 0.1s έχουμε μεταβατικά φαινόμενα και από εκεί και πέρα το ρεύμα σταθεροποιείται στην μέση του τιμή.

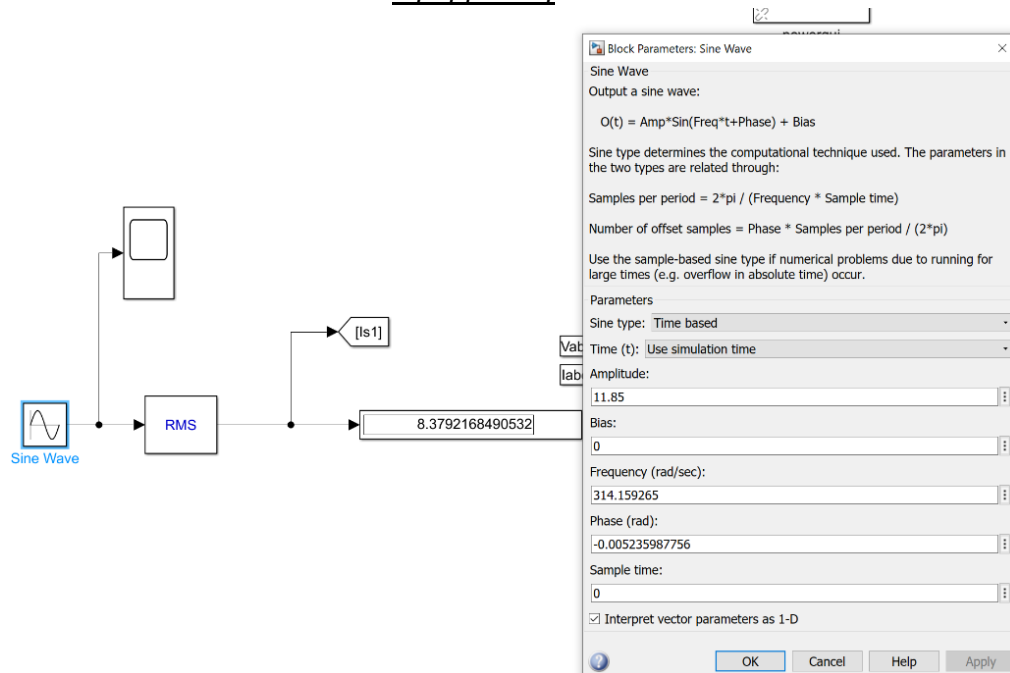
4. Η RMS τιμή της θεμελιώδους αρμονικής συνιστώσας του ρεύματος εισόδου, για πηνίο αυτεπαγωγής $L = 1H$ στην έξοδο, βρέθηκε στο Γ1 ερώτημα ίση με 8.3792V. Για τον υπολογισμό των υπόλοιπων αρμονικών ακολουθήθηκε η εξής μέθοδος: αρχικά, εκτελείται Fourier ανάλυση του ρεύματος εισόδου $I_{s,a}$. Στη συνέχεια, έχοντας επιλέξει την εμφάνιση List (Relative to Fundamental), αναζητείται σε κάθε περιττή αρμονική μέχρι την 13η (δηλαδή σε συχνότητες 150Hz(3η) - 250Hz(5η) - 350Hz(7η) - 450Hz(9η) - 550Hz(11η) - 650Hz(13η)) το ποσοστό πλάτους αυτής σε σχέση με την θεμελιώδη, καθώς και η αναγραφόμενη διαφορά φάσης κάθε μίας εξ αυτών, όπως φαίνεται παρακάτω. Ως χρόνος αρχής της μέτρησης τοποθετείται η χρονική στιγμή $t = 0.2s$, ώστε να μετρηθούν τα μεγέθη στην μόνιμη κατάσταση.



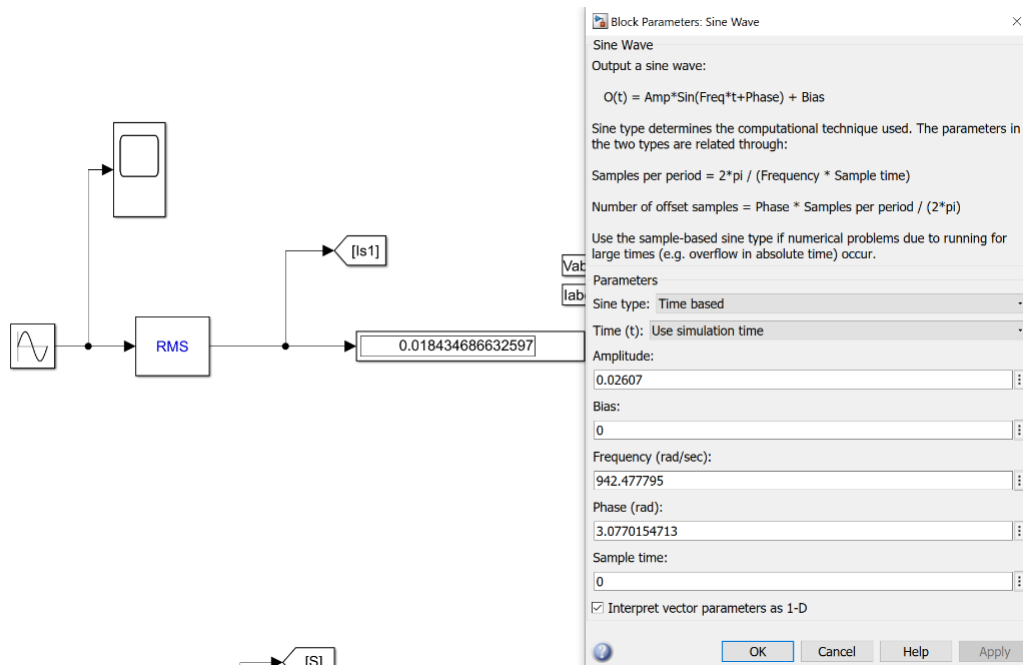
Με βάση τα δεδομένα αυτά, κατασκευάζεται ημιτονοειδής πηγή με την κατάλληλη παραμετροποίηση για την κάθε αρμονική. Το σήμα αυτό, εισάγεται σε ένα RMS block και από εκεί σε μία έξοδο τύπου display. Για παράδειγμα, η 3η αρμονική στα 150Hz, εμφανίζει πλάτος 0.22% του πλάτους της αρμονικής, ίσο δηλαδή με $0.0022 \cdot 11.85V = 0.02607V$, και φάση $(176^\circ - (-0.3^\circ)) = 176.3^\circ$. Παρουσιάζεται από κάτω η διάταξη της κάθε

αρμονικής με τις κατάλληλες παραμέτρους, αφού έχει γίνει μετατροπή από Hz σε rad/s και από μοίρες σε rad:

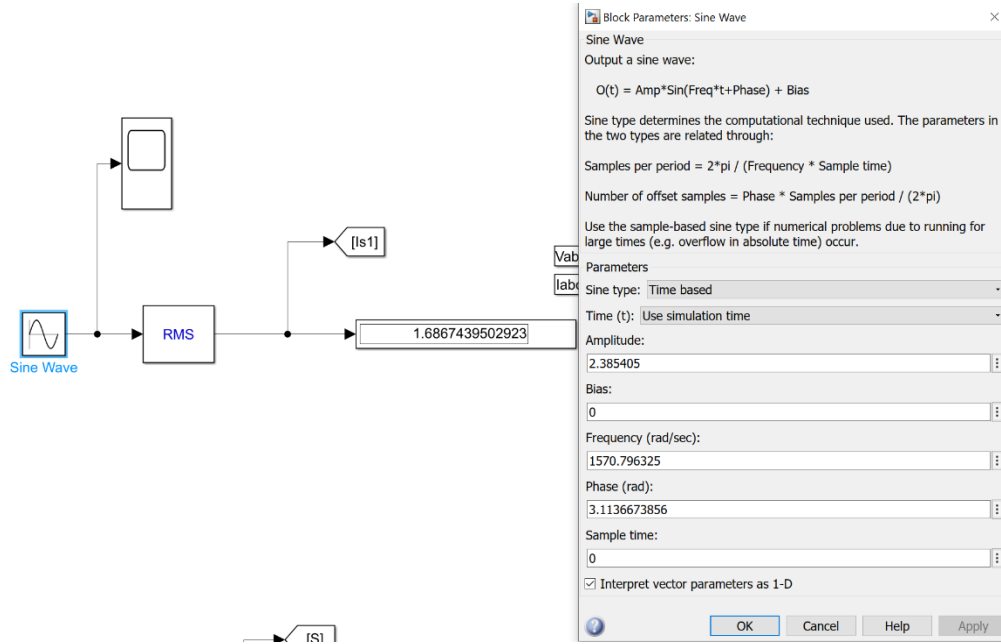
1η αρμονική



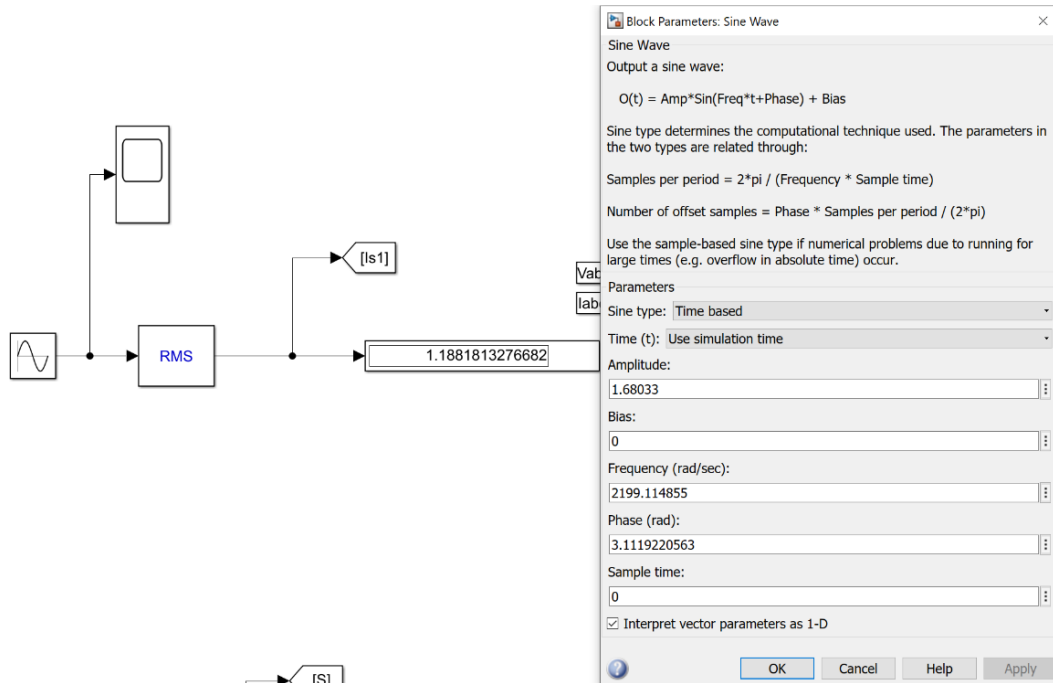
3η αρμονική



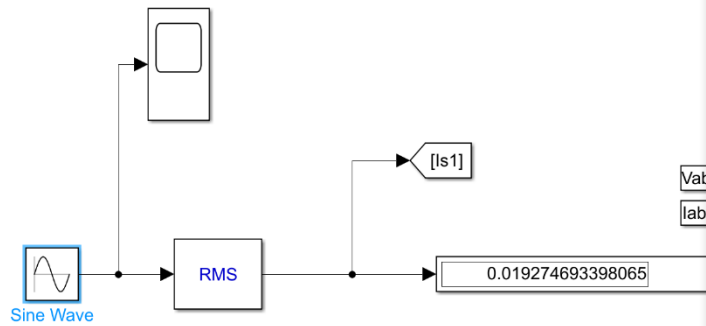
5η αρμονική



7η αρμονική



9η αρμονική



Block Parameters: Sine Wave

Sine Wave

Output a sine wave:

$$O(t) = \text{Amp} \cdot \sin(\text{Freq} \cdot t + \text{Phase}) + \text{Bias}$$

Sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:

$$\text{Samples per period} = 2 \cdot \pi / (\text{Frequency} \cdot \text{Sample time})$$

$$\text{Number of offset samples} = \text{Phase} \cdot \text{Samples per period} / (2 \cdot \pi)$$

Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type: Time based

Time (t): Use simulation time

Amplitude: 0.027255

Bias: 0

Frequency (rad/sec): 2827.433385

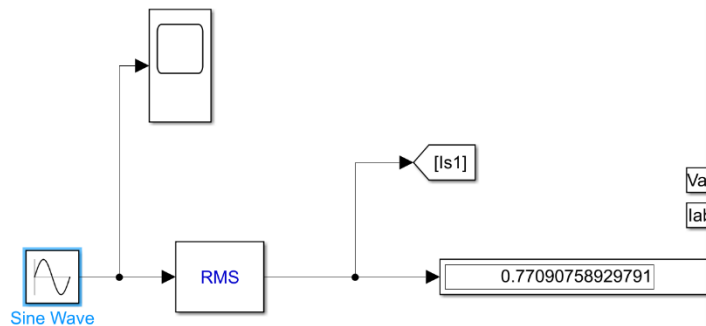
Phase (rad): -0.21293016874

Sample time: 0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

11η αρμονική



Block Parameters: Sine Wave

Sine Wave

Output a sine wave:

$$O(t) = \text{Amp} \cdot \sin(\text{Freq} \cdot t + \text{Phase}) + \text{Bias}$$

Sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:

$$\text{Samples per period} = 2 \cdot \pi / (\text{Frequency} \cdot \text{Sample time})$$

$$\text{Number of offset samples} = \text{Phase} \cdot \text{Samples per period} / (2 \cdot \pi)$$

Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type: Time based

Time (t): Use simulation time

Amplitude: 1.0902

Bias: 0

Frequency (rad/sec): 3455.751915

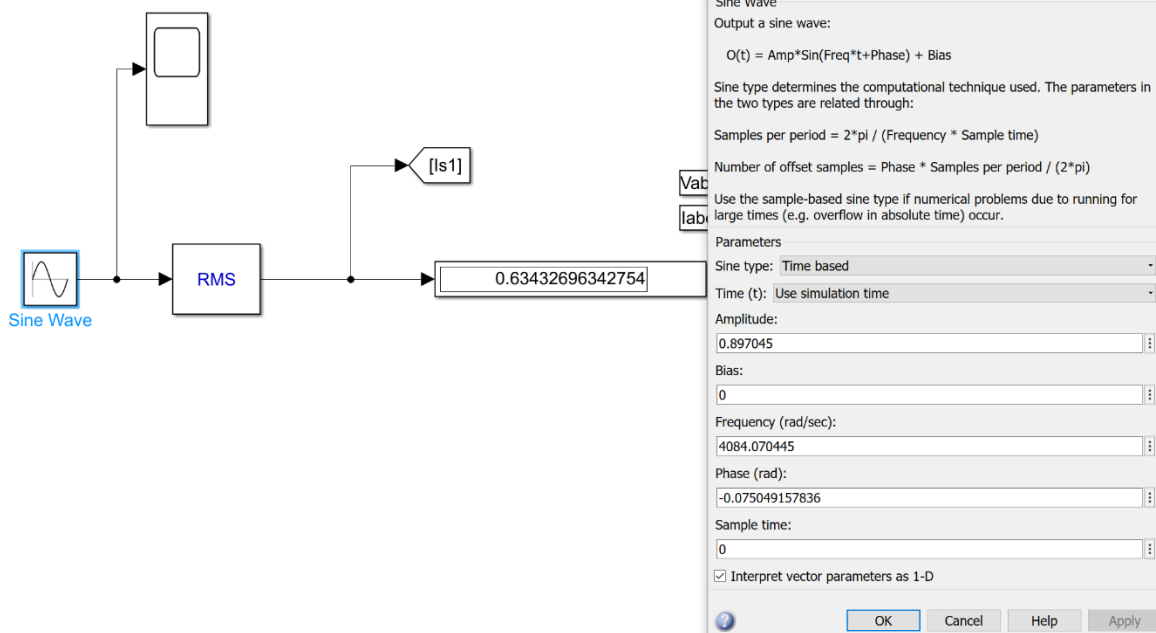
Phase (rad): -0.071558499332

Sample time: 0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

13η αρμονική



5.

Η ανορθωμένη τάση εξόδου του μετατροπέα μας, αναλύεται σε αρμονικές διαφόρων συχνοτήτων, πολλαπλασίων της θεμελιώδους $\omega = 2\pi f$. Στην έξοδο υπάρχει πηλίο σε σειρά με αντίσταση, επομένως για κάθε μία από αυτές τις συχνότητες, η σύνθετη αντίσταση είναι:

$$Z_k = R + j(k\omega)L$$

Με μέτρο:

$$Z_k = \sqrt{R^2 + (k\omega L)^2}$$

Και γωνία:

$$\theta_k = \arctan\left(\frac{k\omega L}{R}\right)$$

Όπου το k είναι ακέραιος ο οποίος δηλώνει σε ποια αρμονική αναφέρεται.

Για τον συντελεστή ισχύος λ στην είσοδο έχουμε:

$$\lambda = \frac{P_s}{S} = \frac{3V_s I_{s1} \cos(\varphi_1)}{3V_s I_s} \Rightarrow \lambda = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos(\varphi_1) \Rightarrow \cos(\varphi_1) = \lambda \frac{I_s}{I_{s1}}$$

Παρατηρούμε ότι, η διαφορά φάσης φ_1 της τάσης και της πρώτης αρμονικής του ρεύματος παραμένει σχεδόν αναλλοίωτη και περίπου ίση με τη μονάδα

για οποιαδήποτε τιμή αυτεπαγωγής (επαληθεύτηκε για διάφορες τιμές αυτεπαγωγής μέσω προσομοίωσης), ενώ η γωνία θ_k της σύνθετης αντίστασης εξαρτάται από τη συχνότητα της κάθε αρμονικής και την αυτεπαγωγή του πηνίου. Συμπερασματικά, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ τους.