

ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Επιστημονικό Πεδίο: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Τίτλος Μαθήματος: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

Άσκηση 5. ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ

Τριφασικά Δίκτυα



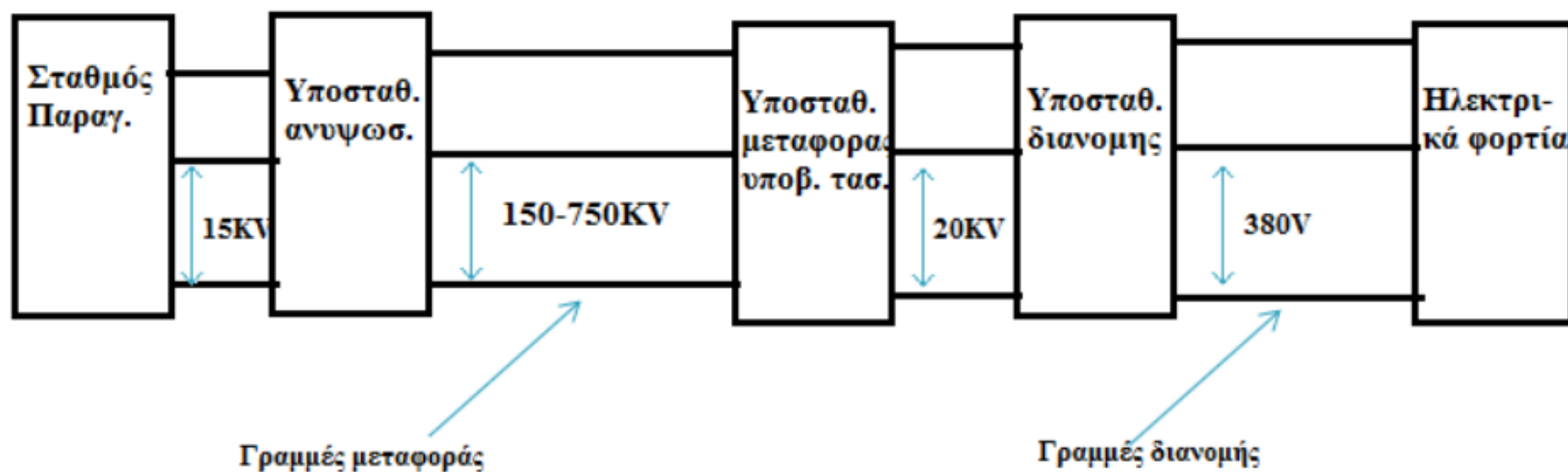
- Τα τριφασικά δίκτυα χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας για τους εξής λόγους:
- 1. Οικονομία στο αγώγιμο υλικό (25% λιγότερος χαλκός).
- 2. Η στιγμιαία ισχύς $p = u \cdot i$ που καταναλώνεται σε συμμετρικό φορτίο από κάθε φάση είναι σχεδόν σταθερή και δεν παίρνει αρνητικές τιμές ανεξάρτητα από την τιμή του συντελεστή ισχύος.
- 3. Οι τριφασικές μηχανές έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης και καλύτερα χαρακτηριστικά από τις μονοφασικές.

Τριφασικά Δίκτυα



ΑΣΠΑΙΤΕ

- ▶ Το τριφασικό δικτύωμα περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά μέρη του τριφασικού συστήματος.



- ▶ **A) Σταθμός παραγωγής.** Είναι ο χώρος στον οποίο υπάρχουν οι τριφασικές γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η τάση είναι της τάξης των 15 – 20 KV.
- ▶ **B) Υποσταθμός ανύψωσης της τάσης.** Στο σταθμό αυτό υπάρχει μετασχηματιστής οποίος ανυψώνει την τάση από τα 15 – 20 KV (ενδιάμεση τάση) στα 150 KV (υψηλή) και στα 750 KV (υπερυψηλή).

Τριφασικά Δίκτυα



- ▶ **Γ) Τριφασικές γραμμές μεταφορά και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.** Οι γραμμές μεταφοράς είναι μεγάλων χιλιομετρικών αποστάσεων και μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τον τόπο παραγωγής σε υποσταθμούς υψηλής τάσης κοντά σε αστικές περιοχές. Οι γραμμές διανομής συνδέουν τον υποσταθμό με του καταναλωτές.
- ▶ **Δ) Υποσταθμός μεταφοράς και διανομής.** Ο υποσταθμός μεταφοράς υποβιβάζει την τάση από την υψηλή ή την υπερυψηλή τιμή σε μια ενδιάμεση, π.χ. 20 KV, ο δε υποσταθμός διανομής υποβιβάζει την τάση στη χαμηλή τιμή 380 V των βιομηχανικών και οικιακών καταναλωτών.
- ▶ **Ε) Ηλεκτρικά φορτία.** Είναι όλα τα μηχανήματα και οι ηλεκτρικές συσκευές που τροφοδοτούνται από το τριφασικό δίκτυο.

Τριφασικά συστήματα

- Τα δίκτυα εναλλασόμενου ρεύματος υψηλής ισχύος είναι τριφασικά συστήματα: 3 αγωγοί και ένας ουδέτερος (και μάλιστα ο ουδέτερος δεν είναι καν απαραίτητος σε συμμετρικές συνθήκες λειτουργίας)

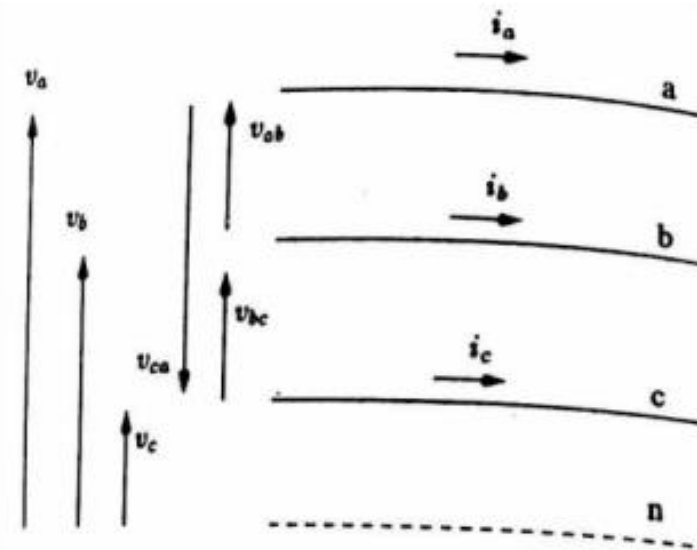
Τριφασικά Συστήματα



- Στα **συμμετρικά τριφασικά συστήματα** οι τάσεις και τα ρεύματα έχουν ίσα μέτρα, και οι γωνίες διαφέρουν κατά 120° :

$$\begin{aligned} v_a &= \sqrt{2}V\cos(\omega t) & i_a &= \sqrt{2}I\cos(\omega t - \theta) \\ v_b &= \sqrt{2}V\cos(\omega t - 2\pi/3) & i_b &= \sqrt{2}I\cos(\omega t - 2\pi/3 - \theta) \\ v_c &= \sqrt{2}V\cos(\omega t + 2\pi/3) & i_c &= \sqrt{2}I\cos(\omega t + 2\pi/3 - \theta) \end{aligned} \quad (2.34)$$

- Διακεκομμένη γραμμή: ουδέτερος κόμβος (σημείο αναφοράς για τα δυναμικά v_a, v_b, v_c , οπότε ας το θέσουμε χωρίς απώλεια γενικότητας ίσο με μηδέν)



Φασικές και πολικές τάσεις

- Οι τάσεις v_a, v_b, v_c εκφράζουν διαφορές δυναμικού από τον ουδέτερο κόμβο και ονομάζονται **φασικές τάσεις**
- Οι τάσεις v_{ab}, v_{bc}, v_{ca} μεταξύ των φάσεων ονομάζονται **πολικές τάσεις**

Τριφασικά Συστήματα



- Θεωρώντας ότι η e_1 έχει διαφορά φάσης 0° τότε οι φασικές τάσεις

$$e_1 = \sqrt{2} \cdot E \cos \omega t$$

$$e_2 = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t - 120^\circ) = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

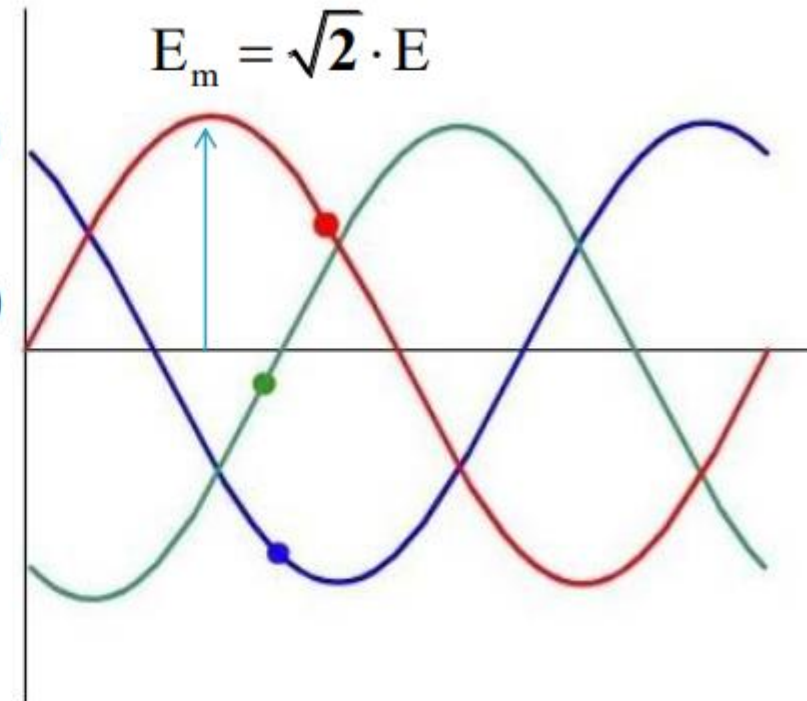
$$e_3 = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t + 120^\circ) = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

- Σε πολική μορφή:

$$\dot{E}_1 = E \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{-j120^\circ} = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

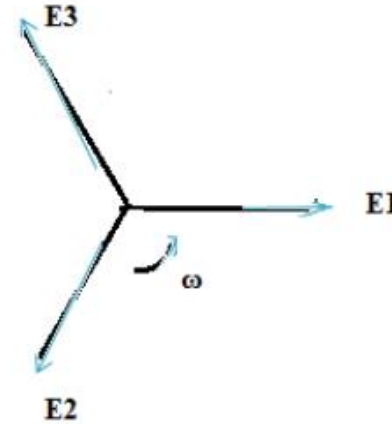
$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{j120^\circ} = E \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}}$$



Τριφασικά Συστήματα



- ▶ Το διανυσματικό διάγραμμα των πολικών διανυσμάτων των φασικών τάσεων φαίνεται πιο κάτω:

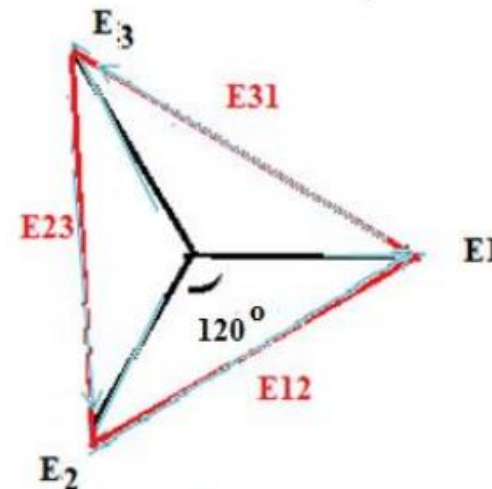


- ▶ Σχέσεις μεταξύ φασικής και πολικής τάσης
- ▶ Ως πολική τάση E12 μεταξύ των φάσεων E1 και E2 ορίζεται η διανυσματική διαφορά τους, όμοια και για τις υπόλοιπες πολικές τάσεις έτσι:

$$\dot{E}_{12} = \dot{E}_1 - \dot{E}_2$$

$$\dot{E}_{23} = \dot{E}_2 - \dot{E}_3$$

$$\dot{E}_{31} = \dot{E}_3 - \dot{E}_1$$



Τριφασικά Συστήματα



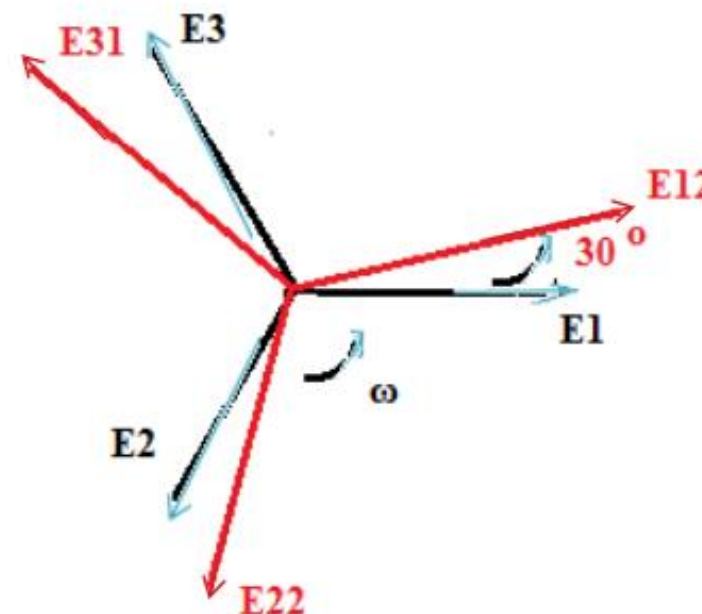
ΑΣΠΑΙΤΕ

- ▶ Το διανυσματικό διάγραμμα των φασικών και πολικών τάσεων φαίνεται πιο κάτω:
- ▶ Όπως προκύπτει η γωνία μεταξύ E12 και E1 είναι ίση με $+30^\circ$, το σύστημα των πολικών τάσεων αποτελεί ένα τριφασικό σύστημα ευθείας ακολουθίας. Το μέτρο των πολικών τάσεων E_p είναι κατά $\sqrt{3} \cdot E_\phi$ του μέτρου της φασικής τάσης.

$$\dot{E}_{12} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\dot{E}_{23} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{-j90^\circ}$$

$$\dot{E}_{31} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{j150^\circ}$$



- ▶ Όπου E_ϕ η ενεργή τιμή της φασικής τάσης

Τριφασικά Συστήματα



$$e_1 = \sqrt{2} \cdot E \cos \omega t$$

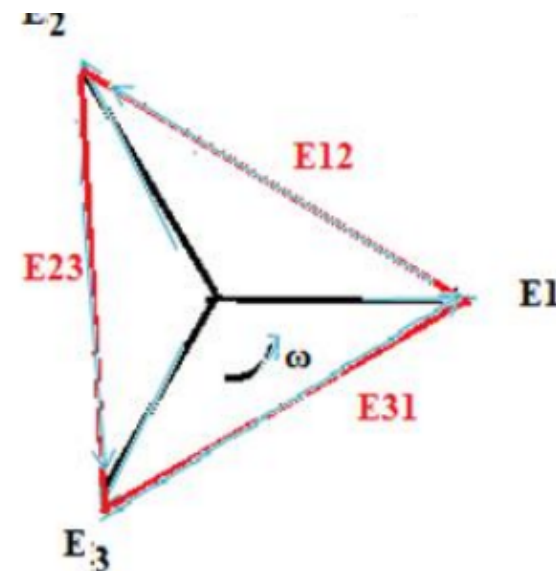
$$e_2 = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t + 120^\circ) = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

$$e_3 = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t - 120^\circ) = \sqrt{2} \cdot E \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$\dot{E}_1 = E \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{+j120^\circ} = E \cdot e^{+j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{-j120^\circ} = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$



$$\dot{E}_{12} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$\dot{E}_{23} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{j90^\circ}$$

$$\dot{E}_{31} = \sqrt{3} \cdot E_\phi \cdot e^{-j150^\circ}$$

Τριφασικά Συστήματα



Μία φάση για να τις ενώσει όλες



- Αφού δουλεύουμε με συμμετρικό τριφασικό σύστημα, όλες οι τάσεις είναι γνωστές αν ξέρουμε τη μία
- Άρα δε χρειάζεται να υπολογίζουμε και τις τρεις φάσεις ξεχωριστά
- Το μόνο που χρειάζεται να συγκρατήσουμε είναι ότι η φασική τάση συνδέεται με την πολική τάση με την ακόλουθη σχέση:

$$\hat{V}_{\pi} = \sqrt{3}\hat{V}_{\varphi} \angle + 30^{\circ} \quad (2.41)$$

- Εκτός αν αναφέρεται ρητά κάτι διαφορετικό, η τάση που δίνεται σε εφαρμογές είναι η πολική τάση

Τριφασικά Συστήματα



η συνολικά μεταφερόμενη στιγμιαία ισχύς σε ένα τριφασικό σύστημα είναι:

$$P = 3V_{\varphi}I_L \cos \theta = \sqrt{3}V_{\pi}I_L \cos \theta \quad (2.42)$$

- Όπου

- $V_{\varphi} = V$: ενεργός τιμή των φασικών τάσεων
- $V_{\pi} = \sqrt{3}V$: ενεργός τιμή των πολικών τάσεων
- I_L : ενεργός τιμή ρεύματος σε κάθε φάση της γραμμής

Τριφασική άεργος και τριφασική μιγαδική ισχύς

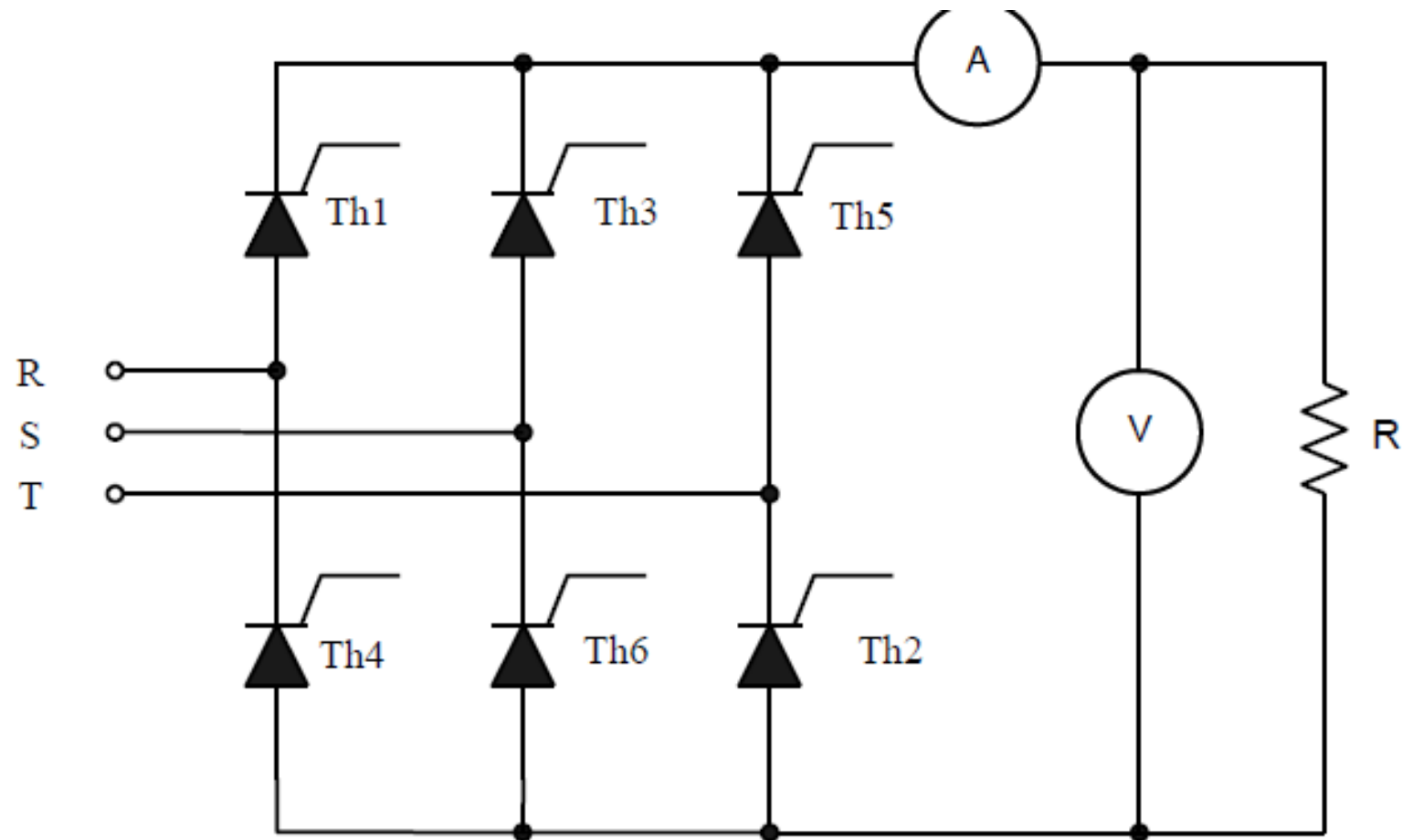
- Η **τριφασική άεργος ισχύς** Q ορίζεται ως το άθροισμα του εύρους ταλάντωσης της στιγμιαίας αέργου ισχύος των τριών φάσεων (κατ'αναλογία προς τη μία φάση):

$$Q = 3V_{\varphi}I_L \sin \theta = \sqrt{3}V_{\pi}I_L \sin \theta \quad (2.43)$$

- Αφού μετράμε εύρος ταλάντωσης (δηλαδή μια μη αρνητική ποσότητα), η υπόθεση εδώ είναι ότι το θ είναι η θετική διαφορά φάσεως μεταξύ τάσης και ρεύματος
- Συνδυάζοντας τις σχέσεις (2.42) και (2.43), η τριφασική μιγαδική ισχύς ορίζεται ως

$$\mathbf{S} = P + jQ = 3\hat{V}_{\varphi}\hat{I}_L^* \quad (2.44)$$

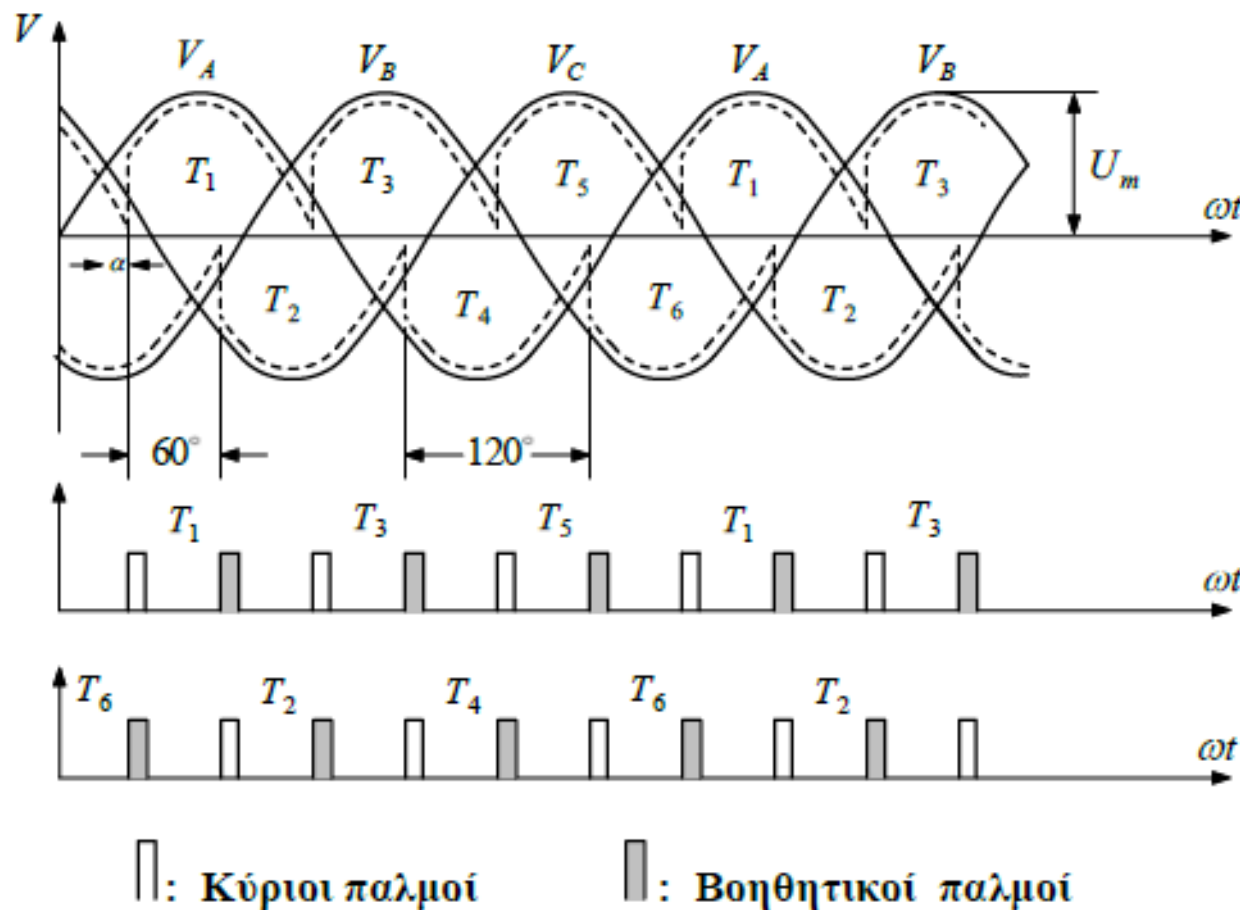
- **Προσοχή:** το θ είναι η διαφορά μεταξύ φασικής (όχι πολικής) τάσης και ρεύματος





ΑΣΠΑΙΤΕ

- Η τάση εξόδου της γέφυρας περιέχει έξι παλμούς ανά περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου, δηλαδή η συχνότητα της θεμελιώδους συνιστώσας είναι 300 Hz (συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας είναι 50 Hz)
- Η αύξηση αυτή της συχνότητας των παλμών, έχει ως συνέπεια το ότι οι διαθέσιμοι χρόνοι για την εκφόρτιση του ρεύματος είναι αρκετά μικρότεροι των αντίστοιχων μονοφασικών διατάξεων, με αποτέλεσμα η αγωγή να είναι ως επί το πλείστον συνεχής.
- Η αρίθμηση των διακοπτικών στοιχείων του μετατροπέα έγινε με βάση τη χρονική διαδοχή της λειτουργίας τους.
- Το διάστημα αγωγής σε καθένα από αυτούς, σε συνθήκες συνεχούς αγωγής είναι 120°

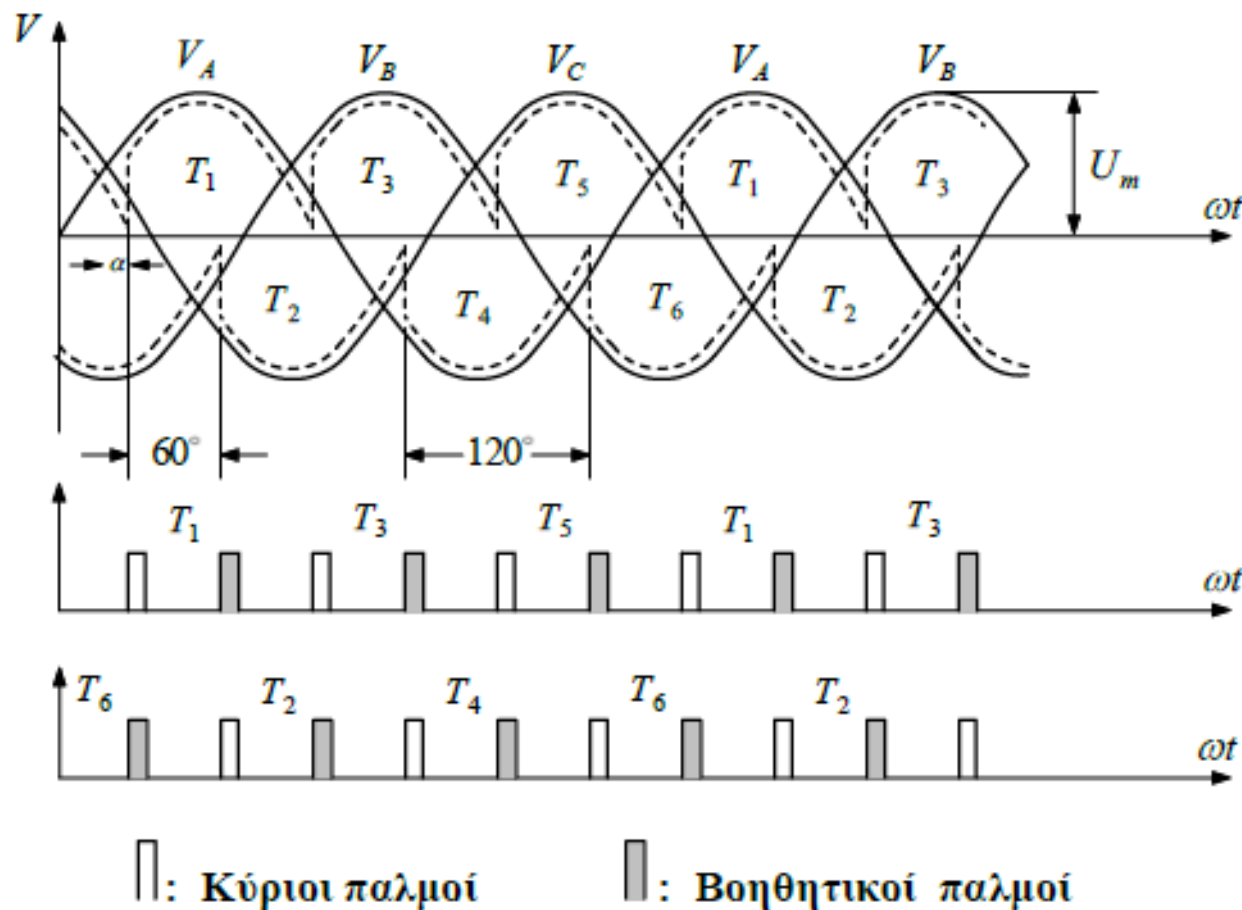


Σχήμα 2: Χρονική διαδοχή έναυσης των διακοπτικών στοιχείων



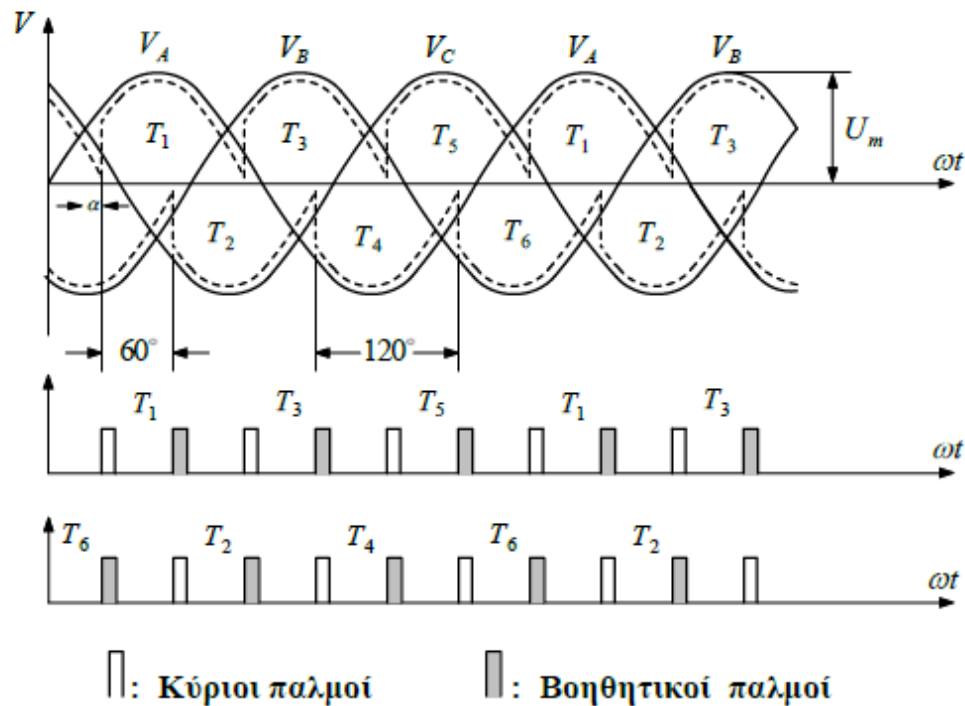
ΑΣΠΑΙΤΕ

- Σε κάθε χρονική στιγμή άγουν δύο θυρίστορ, διαφορετικού κλάδου και ημιγέφυρας.
- Οι παλμοί έναυσης δύο διαδοχικών προς έναυση θυρίστορ, διαφέρουν μεταξύ τους κατά 60° .



Σχήμα 2: Χρονική διαδοχή έναυσης των διακοπτικών στοιχείων

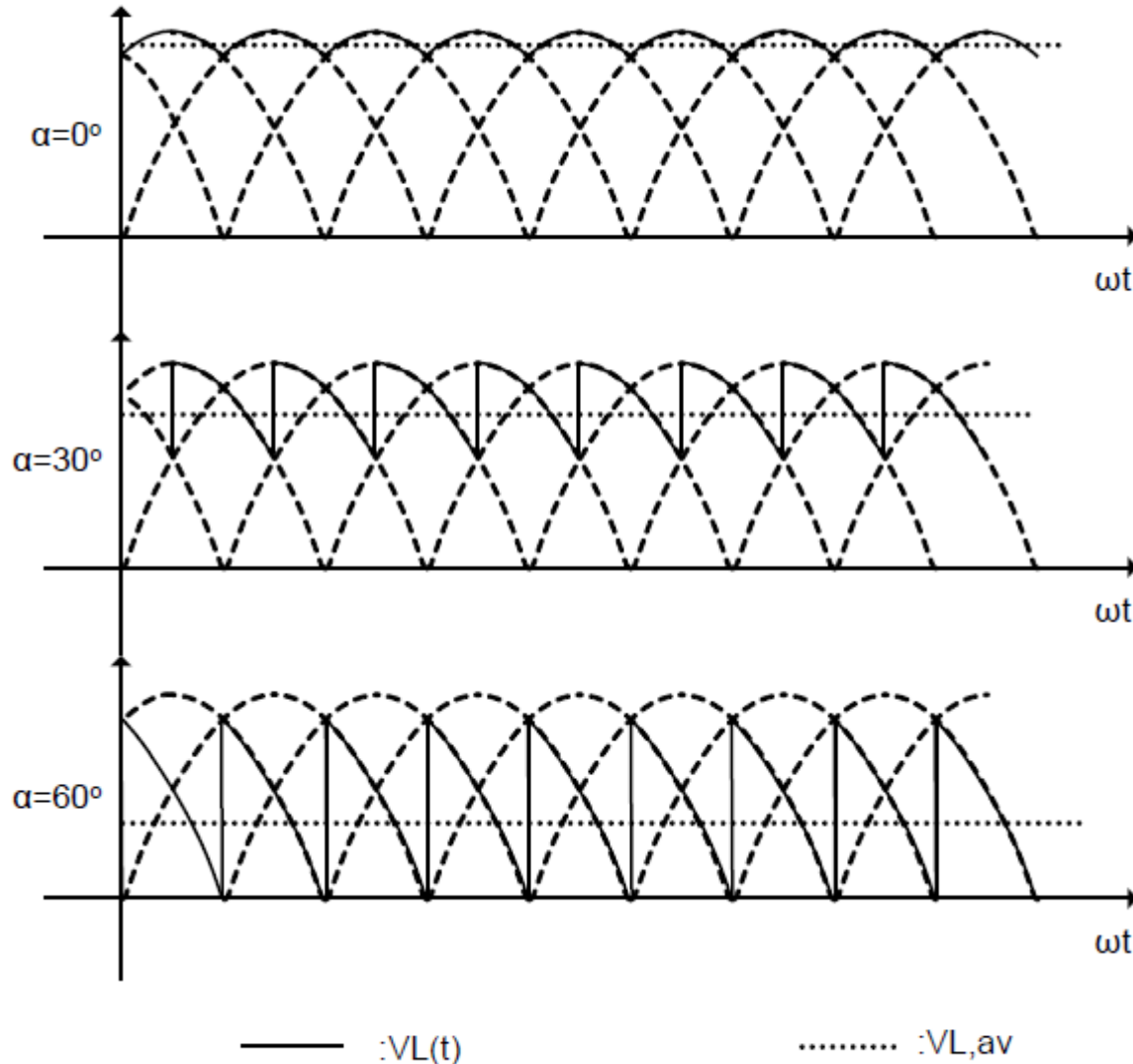
Σύμφωνα λοιπόν με το σχήμα 2, έχουμε τα εξής διαστήματα αγωγής



Σχήμα 2: Χρονική διαδοχή έναυσης των διακοπτικών στοιχείων

Διάστημα αγωγής σε μοίρες	Θυρίστορ που άγουν	Τάση εξόδου
$30+\alpha \leq \omega t \leq 90+\alpha$	T_1 και T_6	$V_a(t) = V_A(t) - V_B(t)$
$90+\alpha \leq \omega t \leq 150+\alpha$	T_1 και T_2	$V_a(t) = V_A(t) - V_C(t)$
$150+\alpha \leq \omega t \leq 210+\alpha$	T_3 και T_2	$V_a(t) = V_B(t) - V_C(t)$
$210+\alpha \leq \omega t \leq 270+\alpha$	T_3 και T_4	$V_a(t) = V_B(t) - V_A(t)$
$270+\alpha \leq \omega t \leq 330+\alpha$	T_5 και T_4	$V_a(t) = V_C(t) - V_A(t)$
$330+\alpha \leq \omega t \leq 390+\alpha$	T_5 και T_6	$V_a(t) = V_C(t) - V_B(t)$

- Συνεχής αγωγή



Συνεχής αγωγή ($0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$V_{L,av} = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{\alpha+90^\circ} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha$$

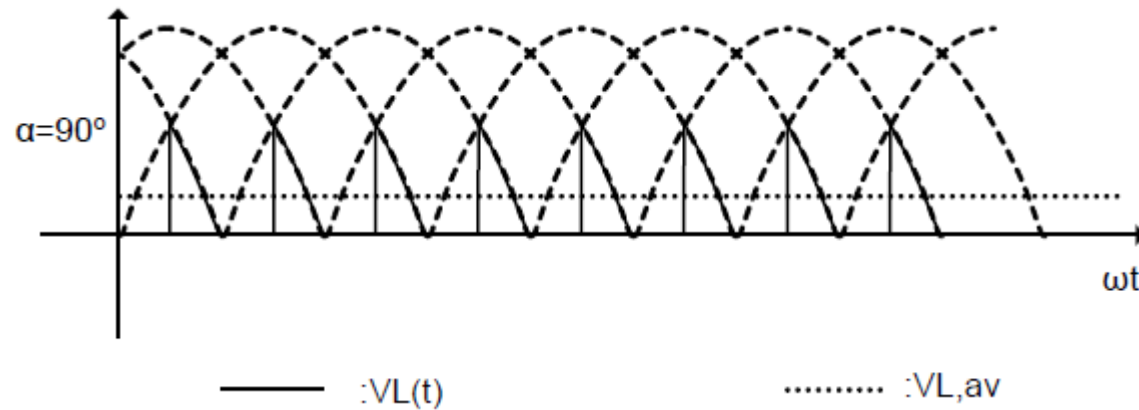
Αντίστοιχα η ενεργός τιμή της τάσης στο φορτίο είναι:

$$V_{L,rms} = \frac{\sqrt{3}V_m}{2} \left(\frac{2\pi + 3\sqrt{3} \cos 2\alpha}{\pi} \right)^{1/2} \quad \text{όπου :}$$

$$V_m = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{V_{LL,rms}}{\sqrt{3}} \right). \quad V_m \text{ είναι η μέγιστη τιμή της φασικής τάσης εισόδου και}$$

$V_{LL,rms}$, η ενεργός τιμή της τάσης εισόδου.

- Ασυνεχής αγωγή



Ασυνεχής αγωγή ($60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$)

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$V_{L,av} = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{150^\circ} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} [1 + \cos(\alpha + 60^\circ)]$$

Αντίστοιχα η ενεργός τιμή της τάσης στο φορτίο είναι:

$$V_{L,rms} = \frac{\sqrt{3}V_m}{2} \left[\frac{4\pi - 6\alpha - 3\sin(2\alpha - 60^\circ)}{\pi} \right]^{1/2}$$

Η μέση και η ενεργός τιμή του ρεύματος στο φορτίο υπολογίζεται από το νόμο του Ωμ.

-
- ΑΣΠΑΙΤΕ

Συνεχής αγωγή ($0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

$$V_{L,av} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{4} \cos \alpha$$

$$V_{L,rms} = \frac{\sqrt{3}V_m}{2} \left(\frac{2\pi + 3\sqrt{3} \cos 2\alpha}{\pi} \right)^{1/2}$$

Ασυνεχής αγωγή ($60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$)

$$V_{L,av} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} [1 + \cos(\alpha + 60^\circ)]$$

$$V_{L,rms} = \frac{\sqrt{3}V_m}{2} \left[\frac{4\pi - 6\alpha - 3\sin(2\alpha - 60^\circ)}{\pi} \right]^{1/2}$$

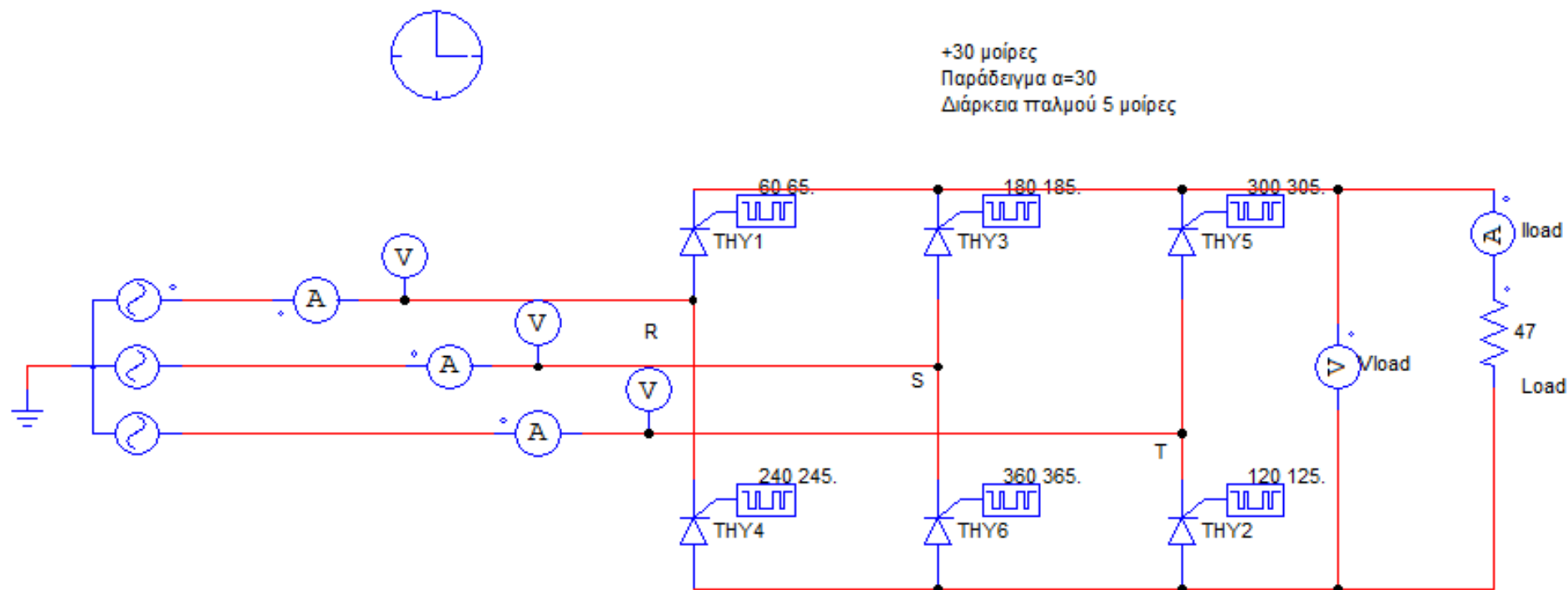
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{(V_{\text{L,DC}})^2 + (V_{\text{L,AC}})^2} \quad I_{\text{rms}} = \sqrt{(I_{\text{DC}})^2 + (I_{\text{AC}})^2}$$

$$P_{rms} = (V_{rms})(I_{rms}) \quad P_L = (V_{L,rms})^2/R$$

$$r_{\text{метр}} = \frac{V_{L,AC}}{V_{L,DC}} \quad r_{\text{теор}} = \sqrt{\left(\frac{V_{L,rms}}{V_{L,av}}\right)^2 - 1}$$

$$V_m = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{V_{LL,rms}}{\sqrt{3}} \right)$$

- Κύκλωμα Εργαστηριακής Άσκησης (ξεχωριστές παλμογεννήτριες)



- 

