

## ΑΣΚΗΣΗ Α.2

### Ζητούμενα:

A.2.1. Εάν ο διακόπτης  $\Delta$  είναι κλειστός, να σχεδιαστεί η τάση  $u_d(\omega t)$  για  $\alpha=30^\circ$  και να υπολογιστεί η τιμή της  $U_d$  και η dc ισχύς  $P_{dc}$  του κυκλώματος.

A.2.2. Εάν ο διακόπτης  $\Delta$  είναι ανοιχτός, να σχεδιαστεί η  $u_d(\omega t)$  για  $\alpha=90^\circ$  και να υπολογιστούν  $U_d$  και  $P_{dc}$ .

A.2.3. Εάν ο διακόπτης  $\Delta$  είναι κλειστός, να σχεδιαστεί η  $u_d(\omega t)$  και να υπολογιστεί η  $U_d$  για  $\alpha=90^\circ$ .

A.2.4. Για την περίπτωση A.2.3 να σχεδιαστούν η τάση  $u_{TH1}$  και το ρεύμα  $i_{TH1}$ .

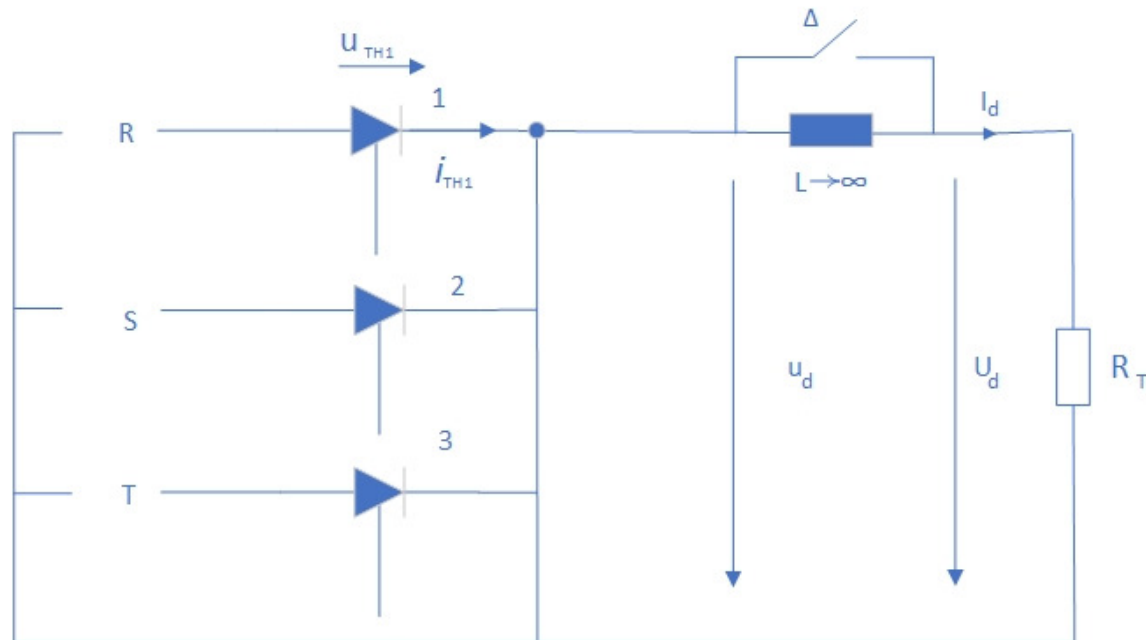
### Πηγή:

$$U_R = \sqrt{2}220\sin\omega t \text{ [V]}$$

$$U_S = \sqrt{2}220\sin(\omega t - 120^\circ) \text{ [V]}$$

$$U_T = \sqrt{2}220\sin(\omega t - 240^\circ) \text{ [V]}$$

$$R=10 \ \Omega$$

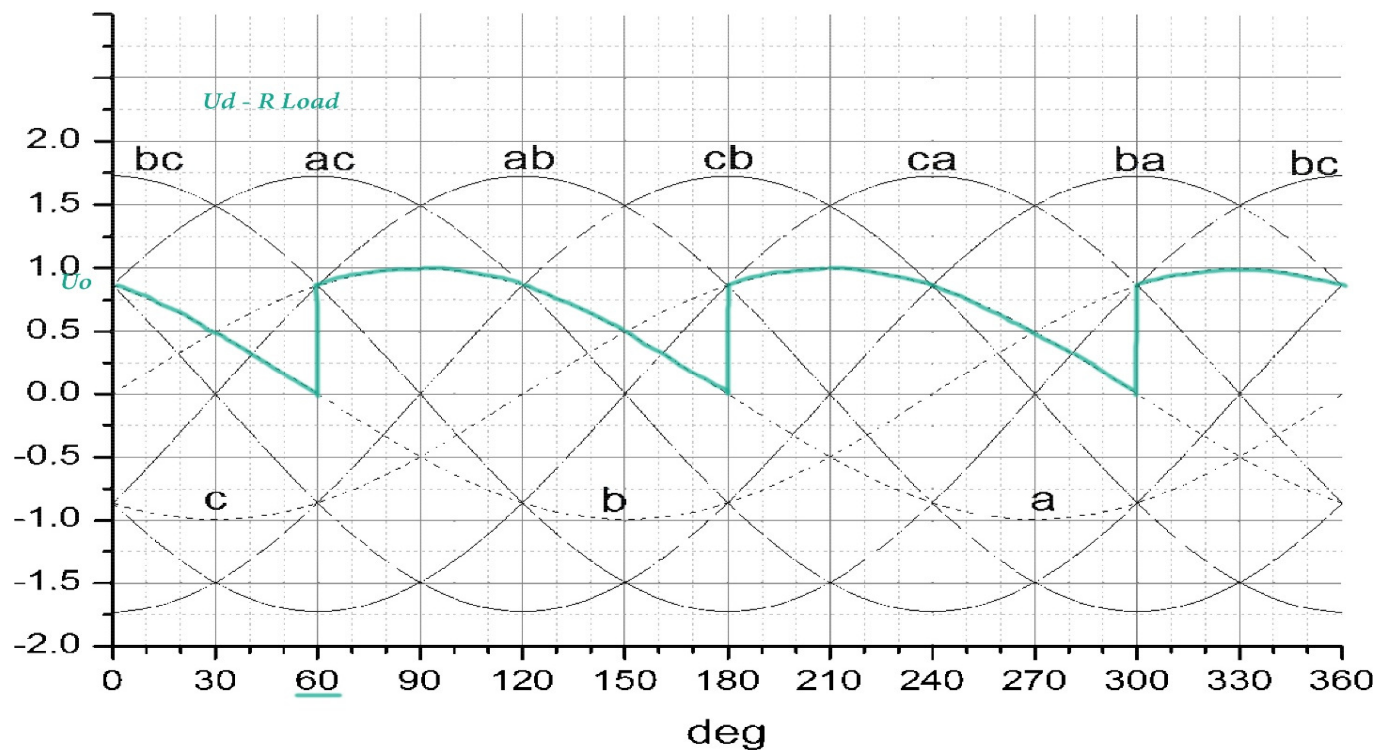


## ΛΥΣΗ

2.1) Ο διακόπτης είναι κλειστός άρα έχουμε ωμικό φορτίο.

Ξεκινάμε να σχεδιάζουμε από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$ , όπου  $\alpha$  η γωνία έναυσης. Το κάθε θυρίστορ άγει για  $120^\circ$ .

Θυρίστορ	1	3	2
$U_d$	$U_{an}$	$U_{cn}$	$U_{bn}$



2.1) Η μέση τιμή της τάσης για  $\alpha=30^\circ$  και  $U_\pi = 220\text{V}$  είναι:

$$U_d = U_0 \cos\alpha = 3 \frac{\sqrt{3}}{2\pi} U_\pi \cos 30^\circ = 157,5 \text{ V}$$

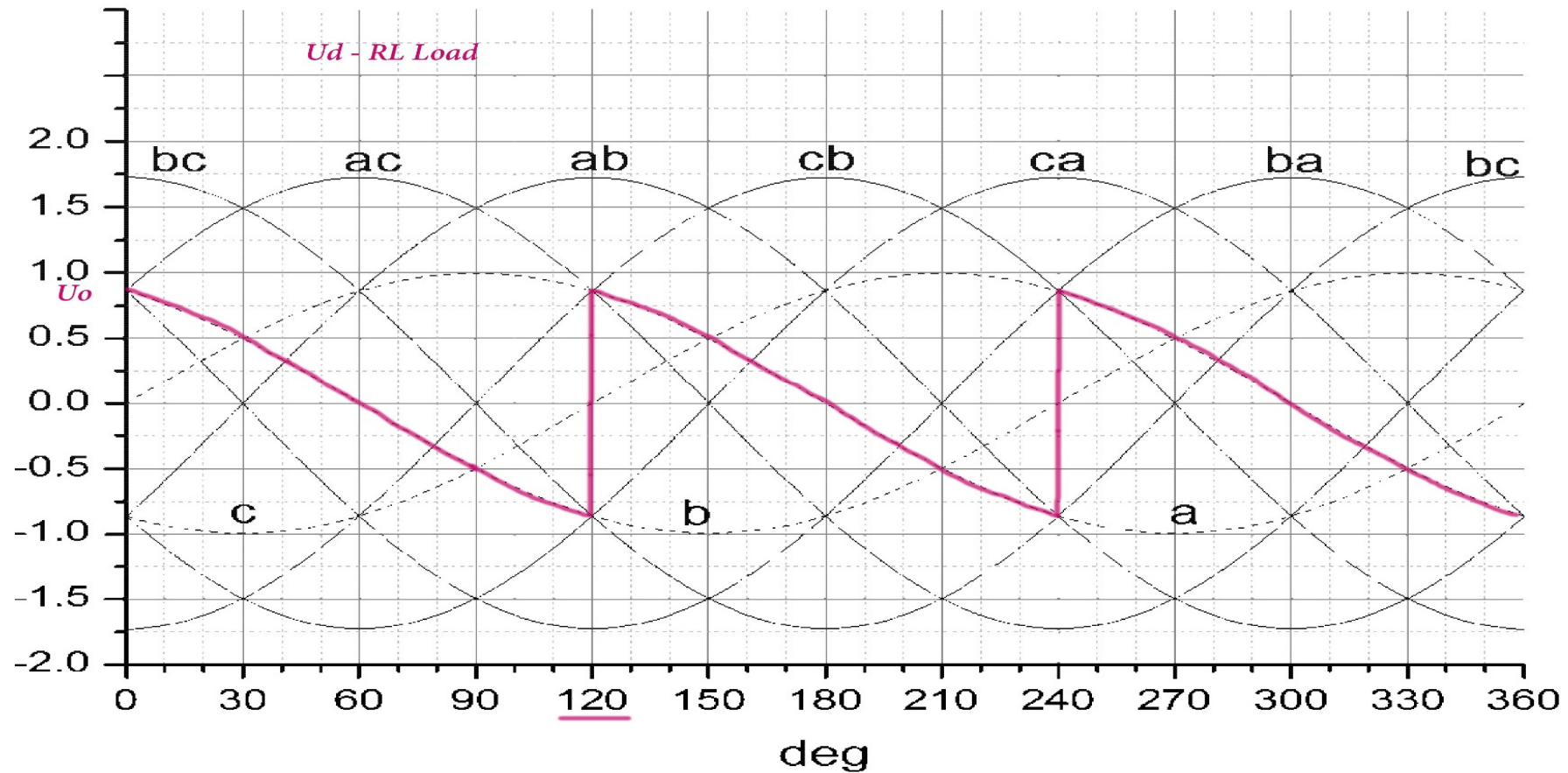
Η dc ισχύς του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:  $P_{dc} = \frac{U_d^2}{R} = 3310 \text{ W}$ .

2.2) Ο διακόπτης είναι ανοιχτός άρα έχουμε συνεχή αγωγή.

Η μέση τιμή της τάσης για  $\alpha=90^\circ$  και  $U_\pi = 220\text{V}$  είναι:

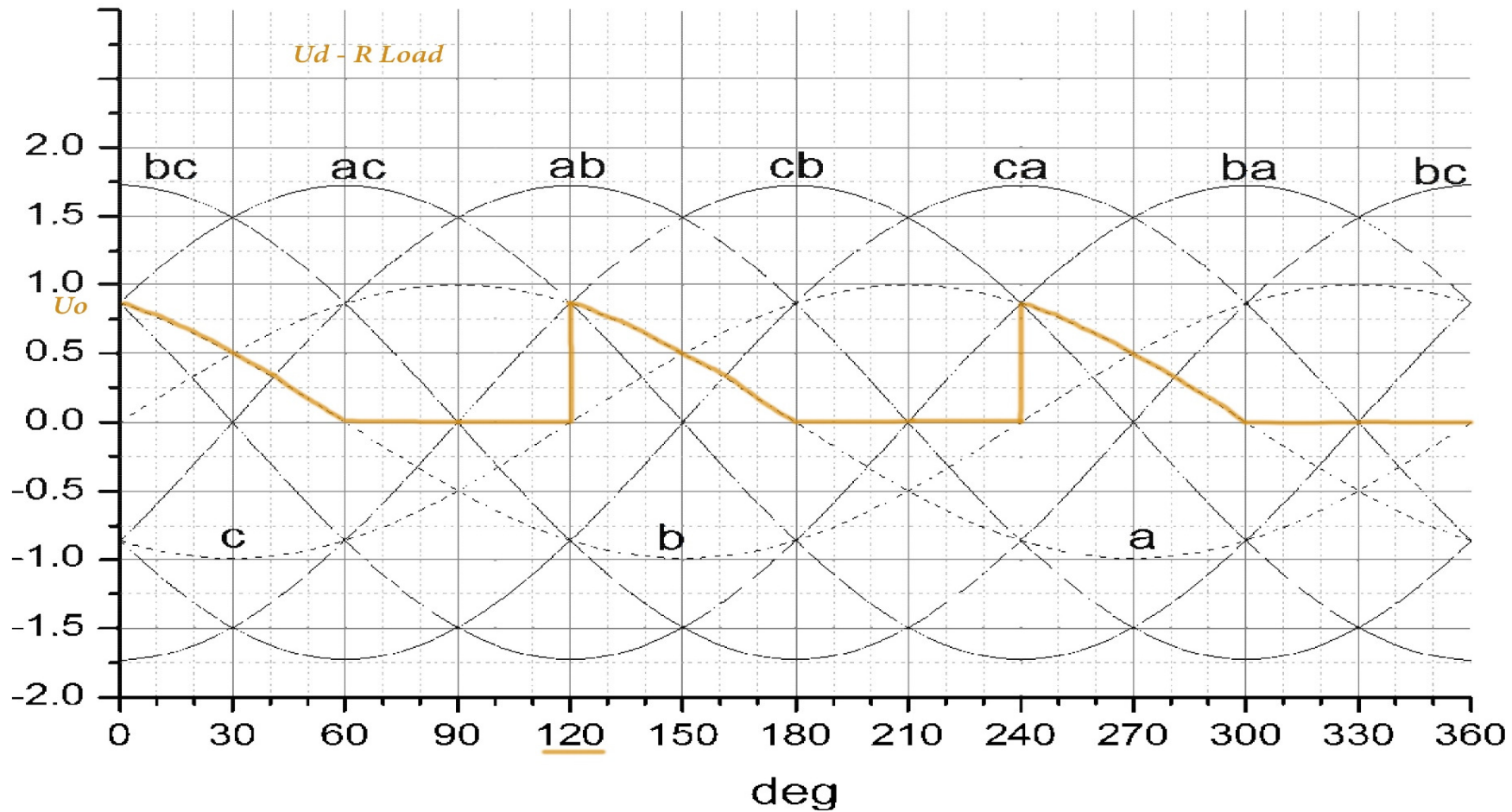
$$U_d = U_0 \cos\alpha = 3 \frac{\sqrt{3}U_\pi}{2\pi} \cos 90^\circ = 0 \text{ V και } P_{dc} = 0.$$

2.2) Ξεκινάμε να σχεδιάζουμε από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ$ , όπου  $\alpha$  η γωνία έναυσης. Το κάθε thyristor άγει για  $120^\circ$ .



2.3) Ο διακόπτης είναι κλειστός άρα έχουμε ωμικό φορτίο.

Για γωνία έναυσης  $90^\circ$  έχω  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ$  το σημείο έναρξης. Επειδή έχουμε ωμικό φορτίο τα θυρίστορ σβήνουν υπό μηδενική τάση.

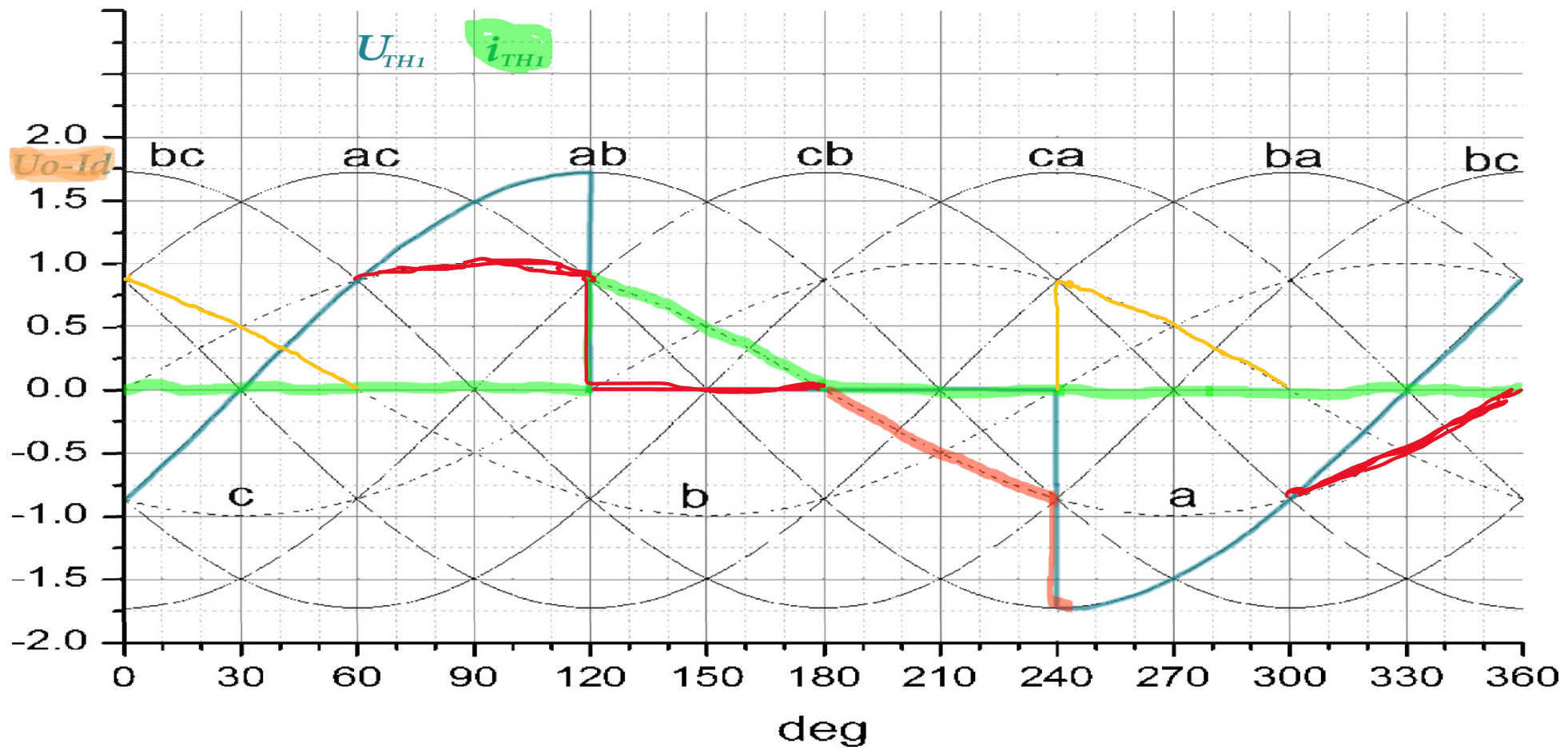


2.3) Η μέση τιμή της τάσης για  $\alpha=90^\circ$  και  $U_\pi = 220V$  είναι ( για 0 εως  $180^\circ$  ):

$$U_d = \frac{3 \cdot U_\pi}{2\pi} (1 + \cos(\alpha + 30^\circ)) = 52.5 \text{ V}$$

2.4) Ο διακόπτης είναι κλειστός άρα έχουμε φορτίο ωμικό. Για γωνία έναυσης  $\alpha=90^\circ$  έχω  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ$ .

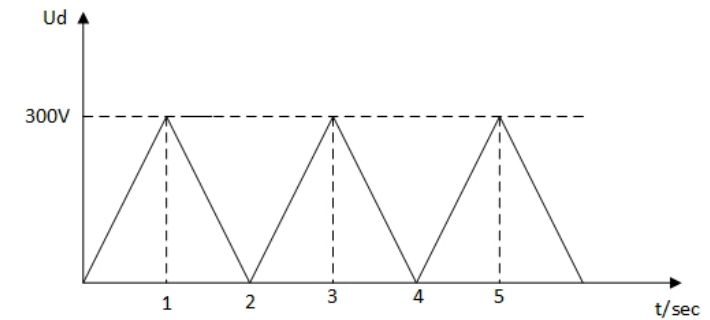
θυρίστορ	1	3	2
$U_{TH1}$	0, $U_a$	$U_{ac}$	$U_{ab}$
$i_{TH1}$	$I_d, 0$	0	0



## ΑΣΚΗΣΗ Α.3

### Ζητούμενα:

- A.3.1. Για  $\alpha = 45^\circ$  να σχεδιαστεί η τάση  $u_d(\omega t)$  και να υπολογιστεί η προσλαμβανόμενη dc ισχύς από το δίκτυο για  $R = 50 \Omega$ .
- A.3.2. Να βρεθεί η γωνία  $\alpha$ , ώστε η μηχανή Σ.Ρ. να προσφέρει ισχύ προς το δίκτυο ίση με την ονομαστική της.
- A.3.3. Πώς πρέπει να μεταβάλλουμε την γωνία  $\alpha(t)$ , ώστε η τάση  $u_d$  να ακολουθεί την ακόλουθη κυματομορφή;
- A.3.4. Εάν ένα thyristor καταστραφεί, δηλ. εάν έχουμε διακοπή ενός κλάδου της γέφυρας, να σχεδιαστεί η  $u_d(\omega t)$  για  $\alpha = 0^\circ$



### Δεδομένα:

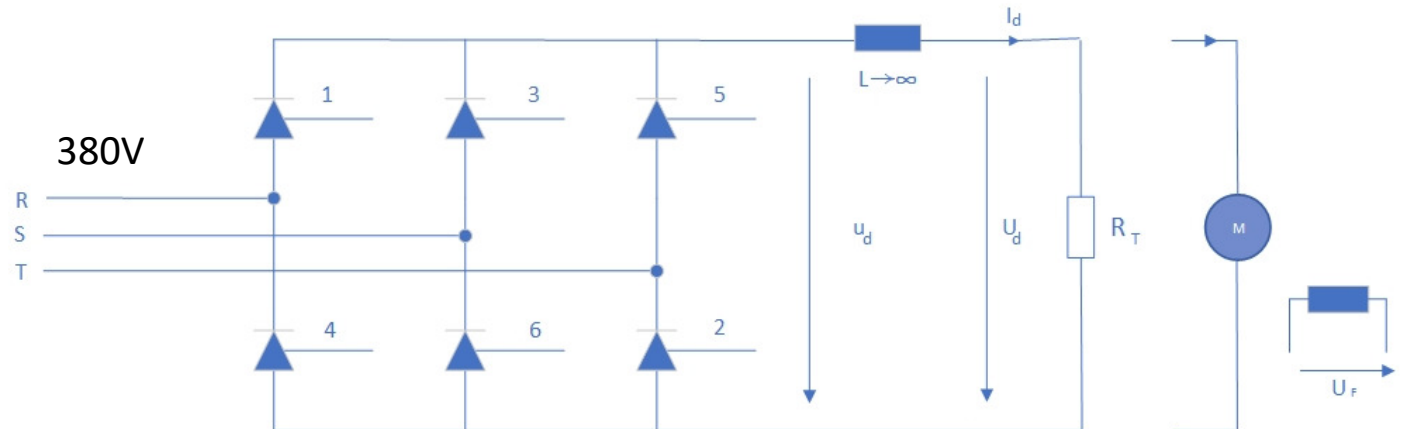
$$R_T = 50 \Omega$$

$$U_N = 220V$$

$$I_N = 50A$$

$$\eta_L = 99,5\%$$

$$\eta_T = 99\%$$

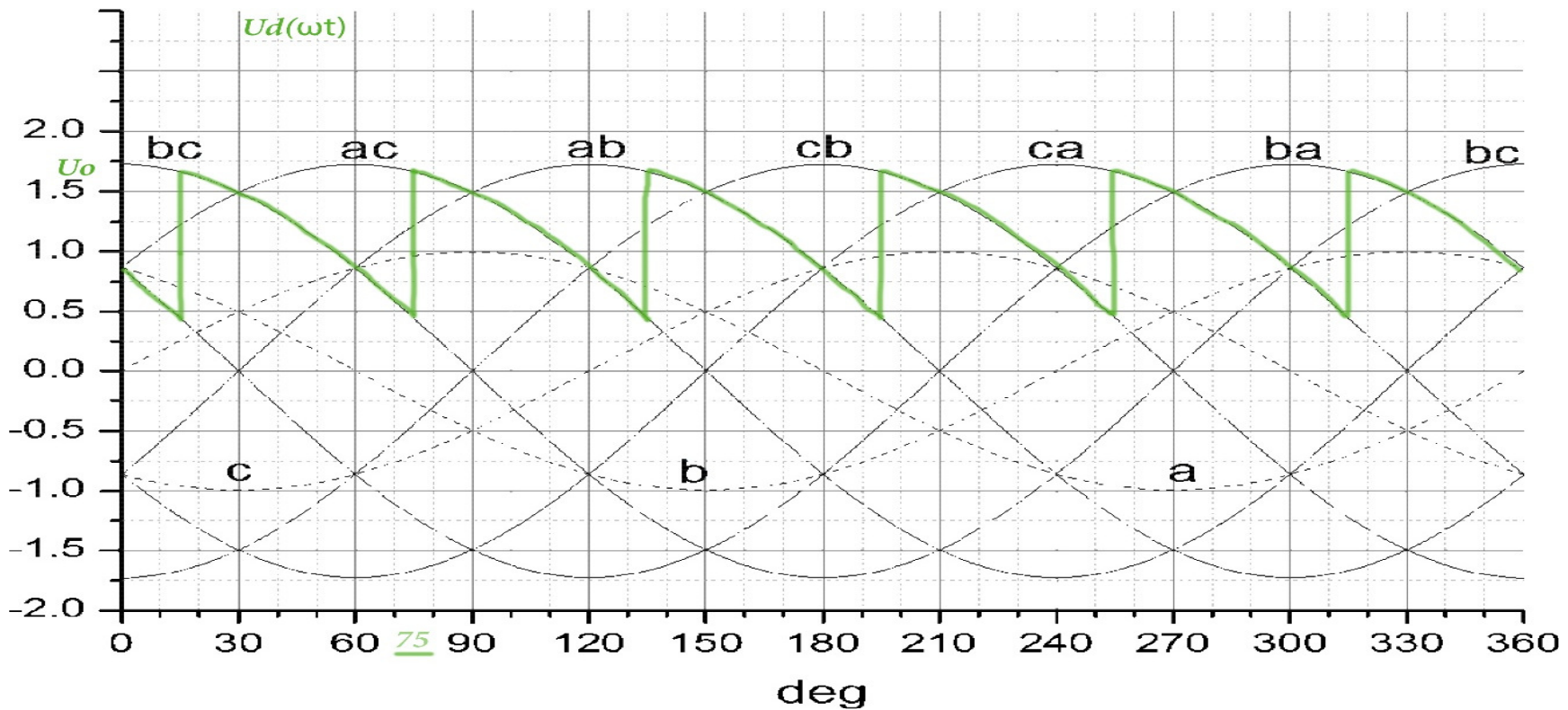




## ΛΥΣΗ

1) Στην τριφασική ανόρθωση ξεκινάμε να σχεδιάζουμε από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 45^\circ = 75^\circ$ , όπου  $\alpha$  η γωνία έναυσης.

Θυρίσ τορ	3,2	1,2	1,6	5,6	5,4	3,4
$U_d$	$U_{bc}$	$U_{ac}$	$U_{ab}$	$U_{cb}$	$U_{ca}$	$U_{ba}$



Υπολογίζουμε την τάση στην έξοδο για  $\alpha = 45^\circ$  και έχω :  $U_d = U_o \cos\alpha = 3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos\alpha = 362,9 \text{ V}$

Άρα η dc ισχύς στην έξοδο θα είναι:  $P_d = \frac{U_d^2}{R} = 2.634 \text{ W}$

Η προσλαμβανόμενη dc ισχύς δίνεται από τη σχέση:  $P = P_d \cdot \frac{1}{\eta_L} \cdot \frac{1}{\eta_T} = \frac{2.634 \text{ W}}{0.99 \cdot 0.995} = 2.674 \text{ W}$

2) Η μηχανή Σ.Ρ. προσφέρει ισχύ στο δίκτυο, άρα λειτουργεί ως γεννήτρια. Αυτό σημαίνει ότι θα αντιστραφεί η πολικότητά της.

Έχουμε  $U_d = -U_N = -220 \text{ V}$  οπότε  $3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos\alpha = -220 \text{ V} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \left( \frac{-220}{513,18} \right) = 115,4^\circ$

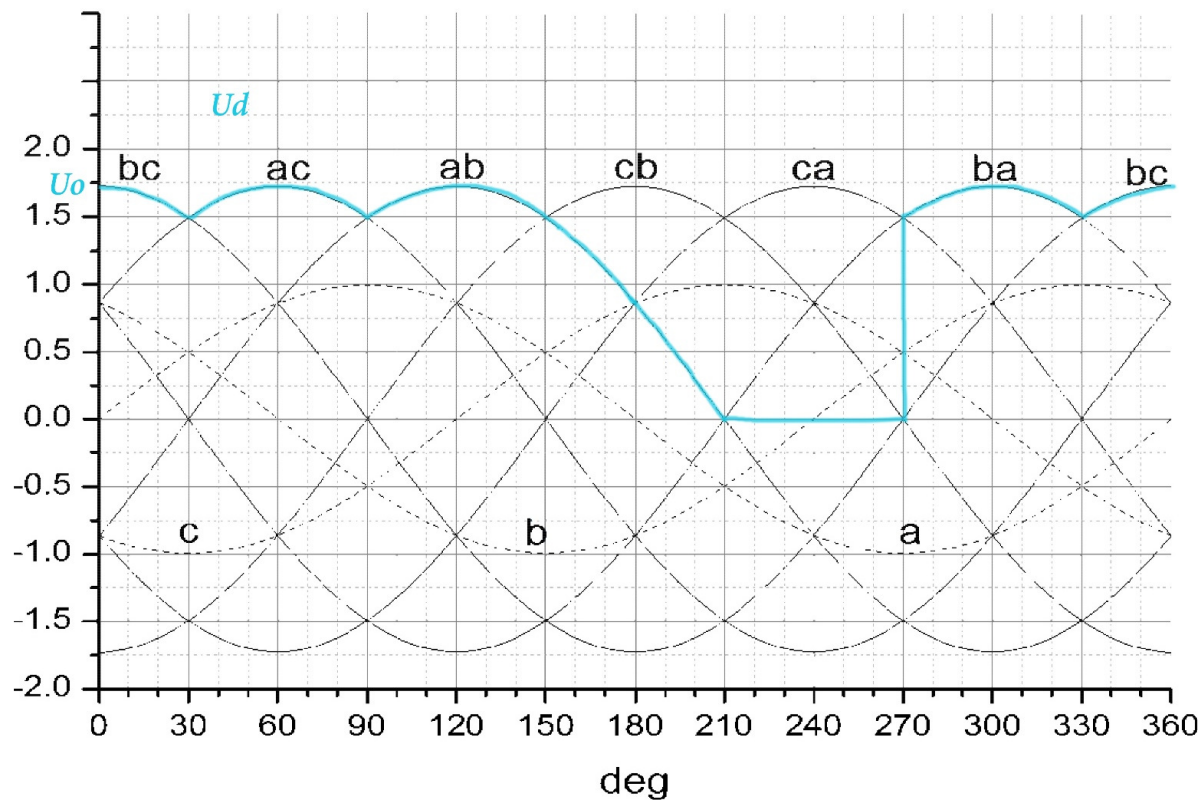
3) Για την τάση ισχύει  $U_d(t) = U_o \cos\alpha(t)$ , οπότε η μεταβολή της γωνίας είναι  $\alpha(t) = \cos^{-1} \frac{U_d(t)}{U_o} = \cos^{-1} \frac{U_d(t)}{513,18}$

- $0 < t < 1 : U_d(t) = 300t \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left( \frac{300t}{513,18} \right) = \cos^{-1} (0.585t)$
- $1 < t < 2 : U_d(t) = 300(2-t) \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left( \frac{300(2-t)}{513,18} \right) = \cos^{-1} 0.585(2-t)$
- $2 < t < 3 : U_d(t) = 300(t-2) \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left( \frac{300(t-2)}{513,18} \right) = \cos^{-1} 0.585(t-2)$
- $3 < t < 4 : U_d(t) = 300(4-t) \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left( \frac{300(4-t)}{513,18} \right) = \cos^{-1} 0.585(4-t)$

ΚΟΚ

4) Για  $\alpha=0^\circ$  γωνία έναυσης, η κυματομορφή θα ξεκινήσει από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ$ . Εάν καταστραφεί κάποιο θυρίστορ συνεχίζει να άγει το προηγούμενο ζευγάρι. Έστω ότι καταστρέφεται το θυρίστορ 5, τότε για την τάση εξόδου θα έχουμε:

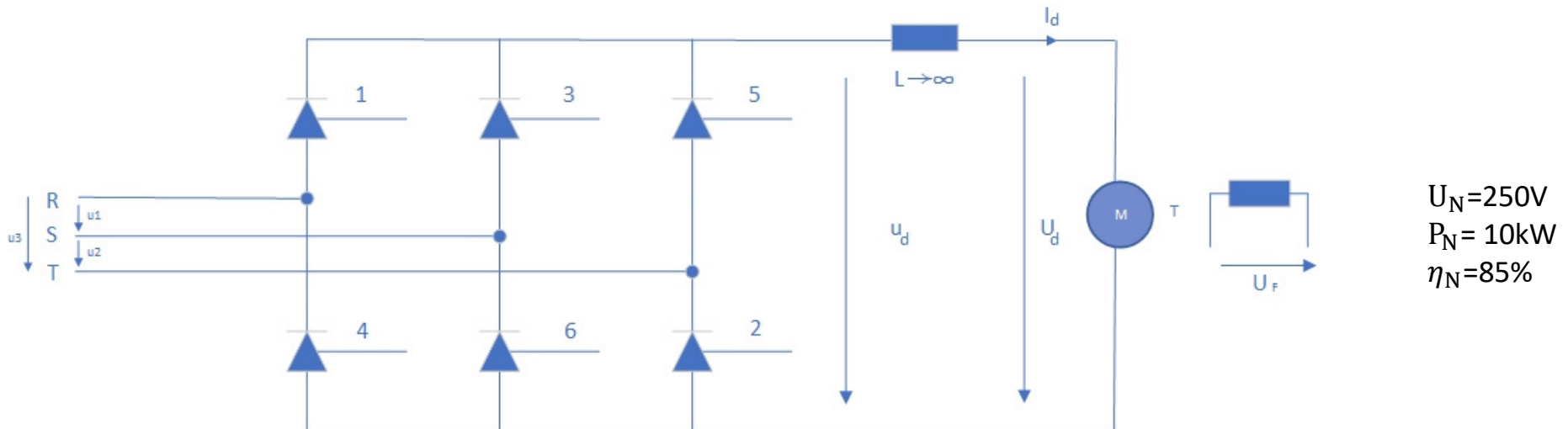
Θυρίστορ	1,2	1,6	5,6	5,4	3,4	3,2
$U_d$	$U_{ac}$	$U_{ab}$	$U_{ab}$	-	$U_{ba}$	$U_{bc}$



## ΑΣΚΗΣΗ Α.4

### Ζητούμενα:

Να σχεδιασθεί η τάση  $u_d(\omega t)$  με ακρίβεια για την ονομαστική κατάσταση της μηχανής.

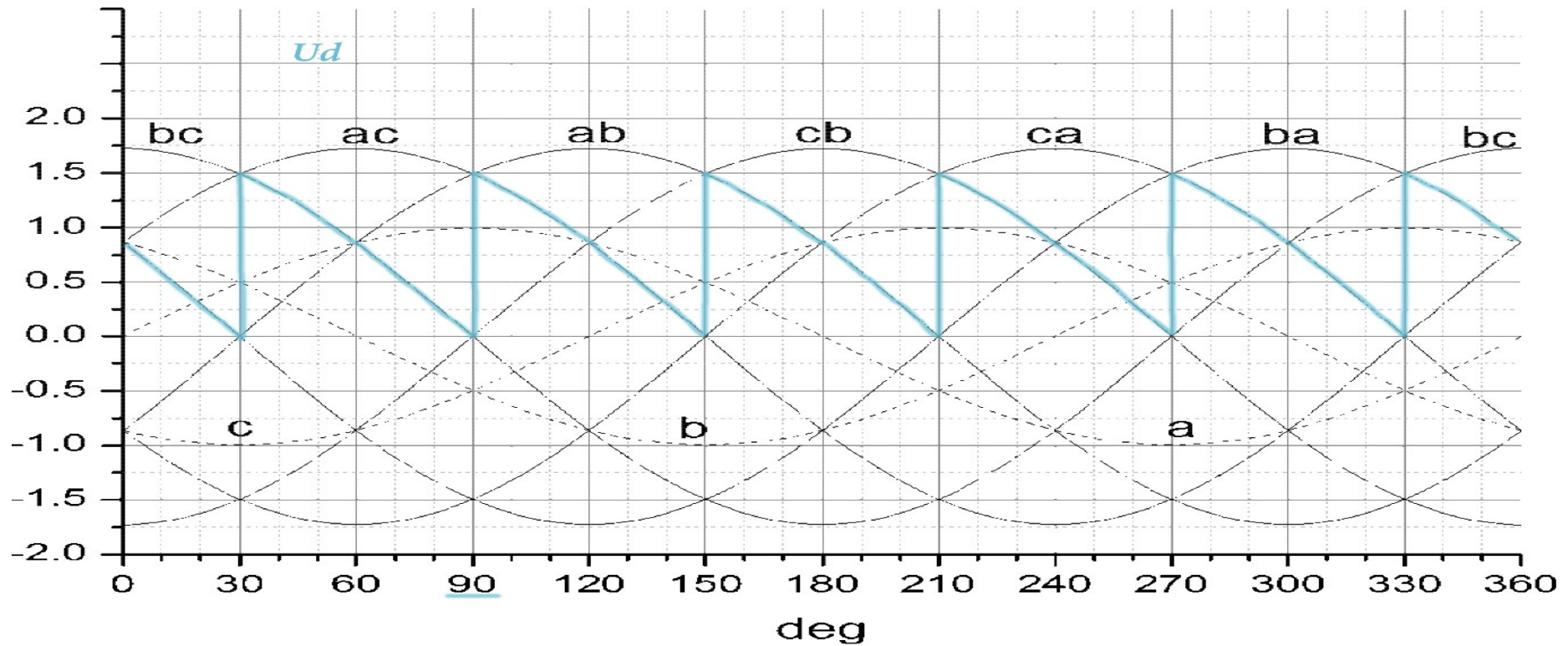


## ΛΥΣΗ

Για την ονομαστική κατάσταση με  $U_{\pi}=380\text{V}$  ισχύει:

$$U_d = U_N = 250 \text{ V} \Rightarrow 250 = 3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos\alpha \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\pi 250}{3\sqrt{2}U_{LL}} = 0,487 \Rightarrow \alpha = 60^\circ$$

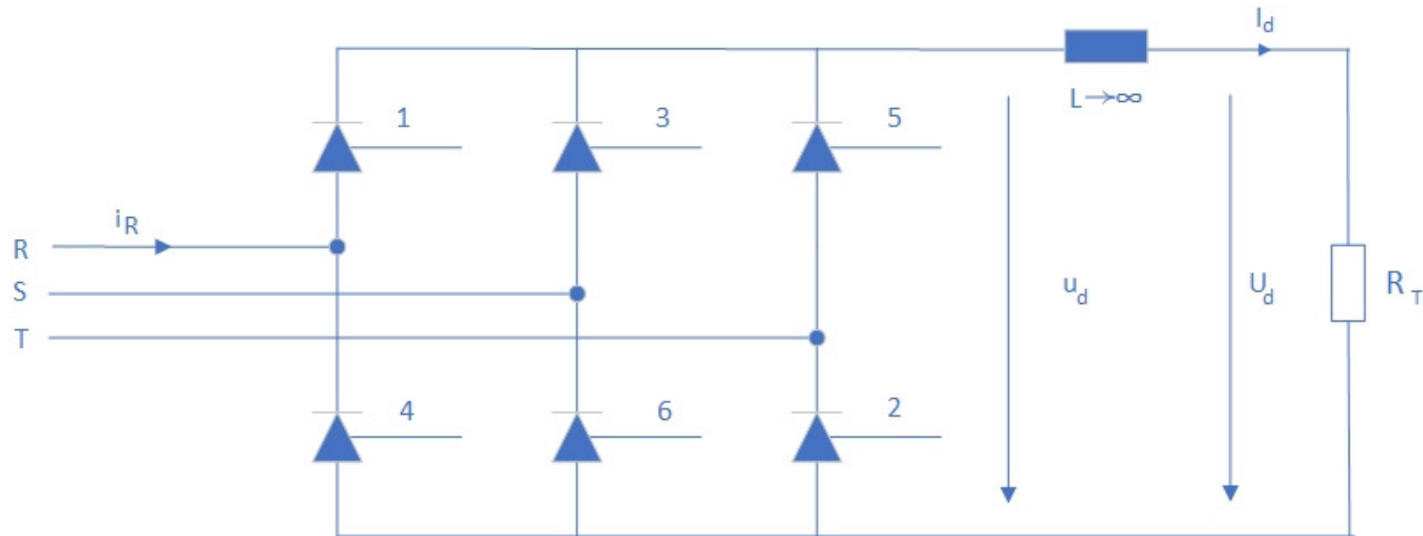
Για  $\alpha=60^\circ$  γωνία έναυσης, η κυματομορφή θα ξεκινήσει από  $30^\circ + \alpha = 90^\circ$



## ΑΣΚΗΣΗ Α.5

### Ζητούμενα:

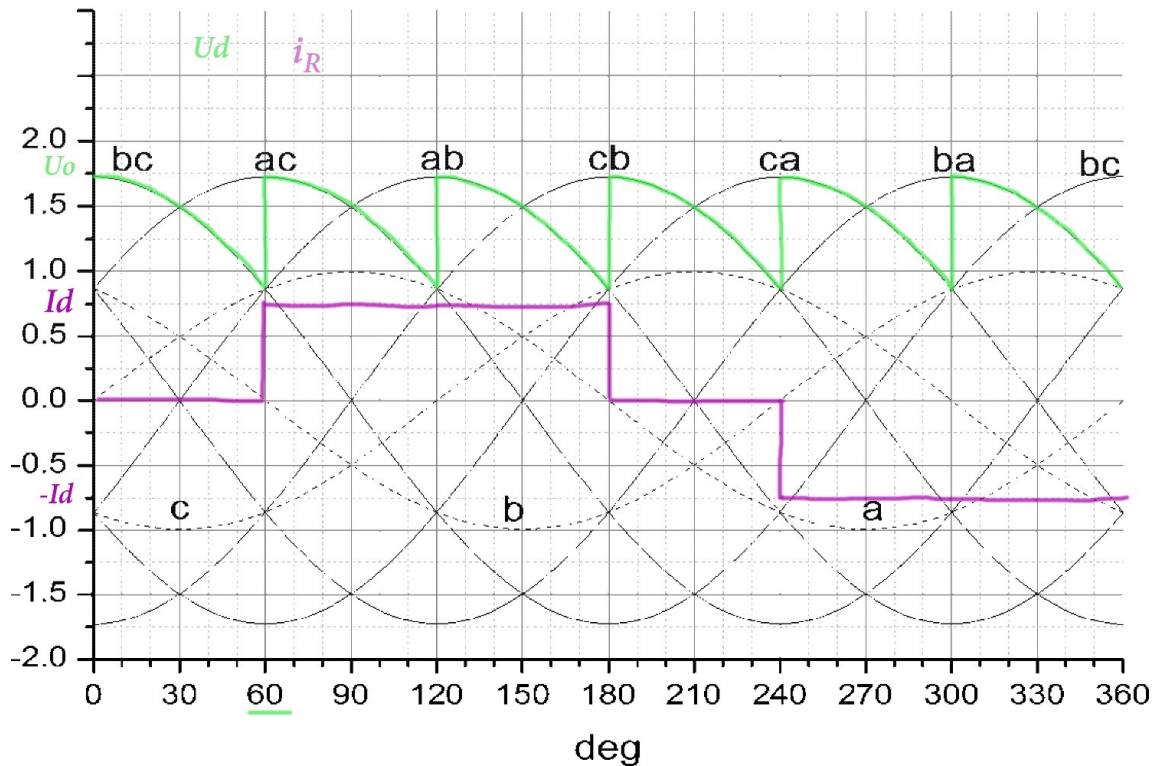
- A.5.1. Να σχεδιασθεί η τάση  $u_d(\omega t)$  για την γωνία έναυσης  $\alpha = 30^\circ$ .
- A.5.2. Να σχεδιασθεί το ρεύμα  $i_R(\omega t)$  και να υπολογισθεί η ενεργός τιμή αυτού για ένα δεδομένο  $I_d$  [  $u_d(\omega t)$  και  $i_R(\omega t)$  το ένα κάτω του άλλου με την ίδια κλίμακα χρόνου ].



## ΛΥΣΗ

1) Σχεδιάζουμε από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$ , όπου  $\alpha$  η γωνία έναυσης.

Θυρίστορ	1,2	1,6	5,6	5,4	3,4	3,2
$U_d$	$U_{ac}$	$U_{ab}$	$U_{cb}$	$U_{ca}$	$U_{ba}$	$U_{bc}$
$i_R$	$I_d$	$I_d$	0	$-I_d$	$-I_d$	0



2) Η ενεργός τιμή του ρεύματος υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{30^\circ}^{150^\circ} I_d^2 d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} I_d^2 (150^\circ - 30^\circ)} \\
 &= I_d \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{2\pi}{3}} = I_d \sqrt{\frac{2}{3}}
 \end{aligned}$$

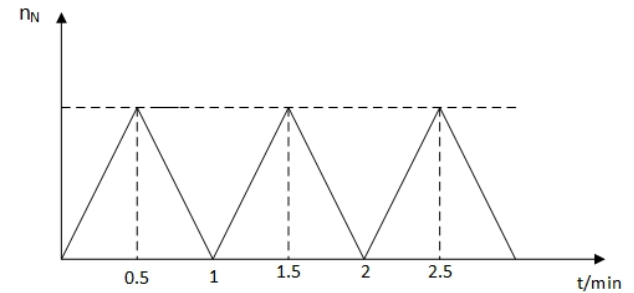
## ΑΣΚΗΣΗ Α.6

### Ζητούμενα:

A.6.1. Να σχεδιασθεί η τάση  $u_d(\omega t)$  και η τάση  $u_{T1}(\omega t)$  για γωνία έναυσης  $\alpha = 90^\circ$ .

A.6.2. Να βρεθεί ο αριθμός στροφών της μηχανής για τη γωνία  $\alpha = 90^\circ$ .

A.6.3. Να βρεθεί η γωνία  $\alpha(t)$ , εάν η ταχύτητα της μηχανής πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω συνάρτηση υπό σταθερή ροπή  $M = M_N$ .



### Πηγή:

$$U_R = \sqrt{2} 220 \sin \omega t \text{ [V]}$$

$$U_S = \sqrt{2} 220 \sin(\omega t + 120^\circ) \text{ [V]}$$

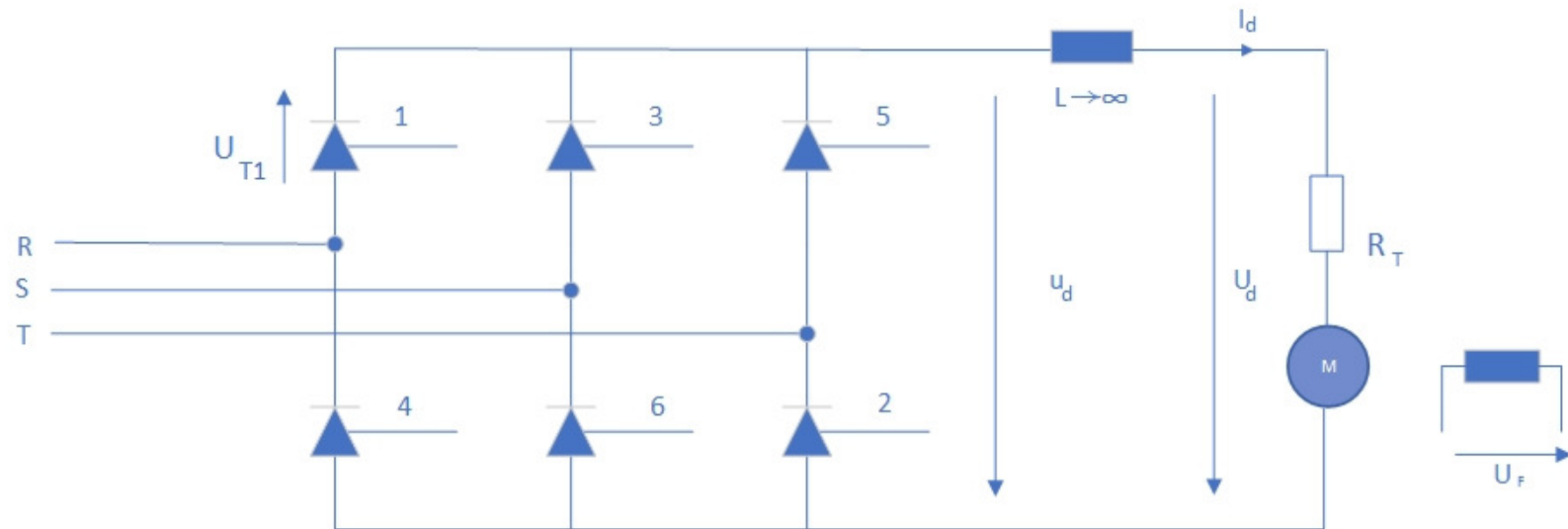
$$U_T = \sqrt{2} 220 \sin(\omega t + 240^\circ) \text{ [V]}$$

### Μηχανή:

$$U_N = 220 \text{ V} \quad P_F = 1 \text{ kW}$$

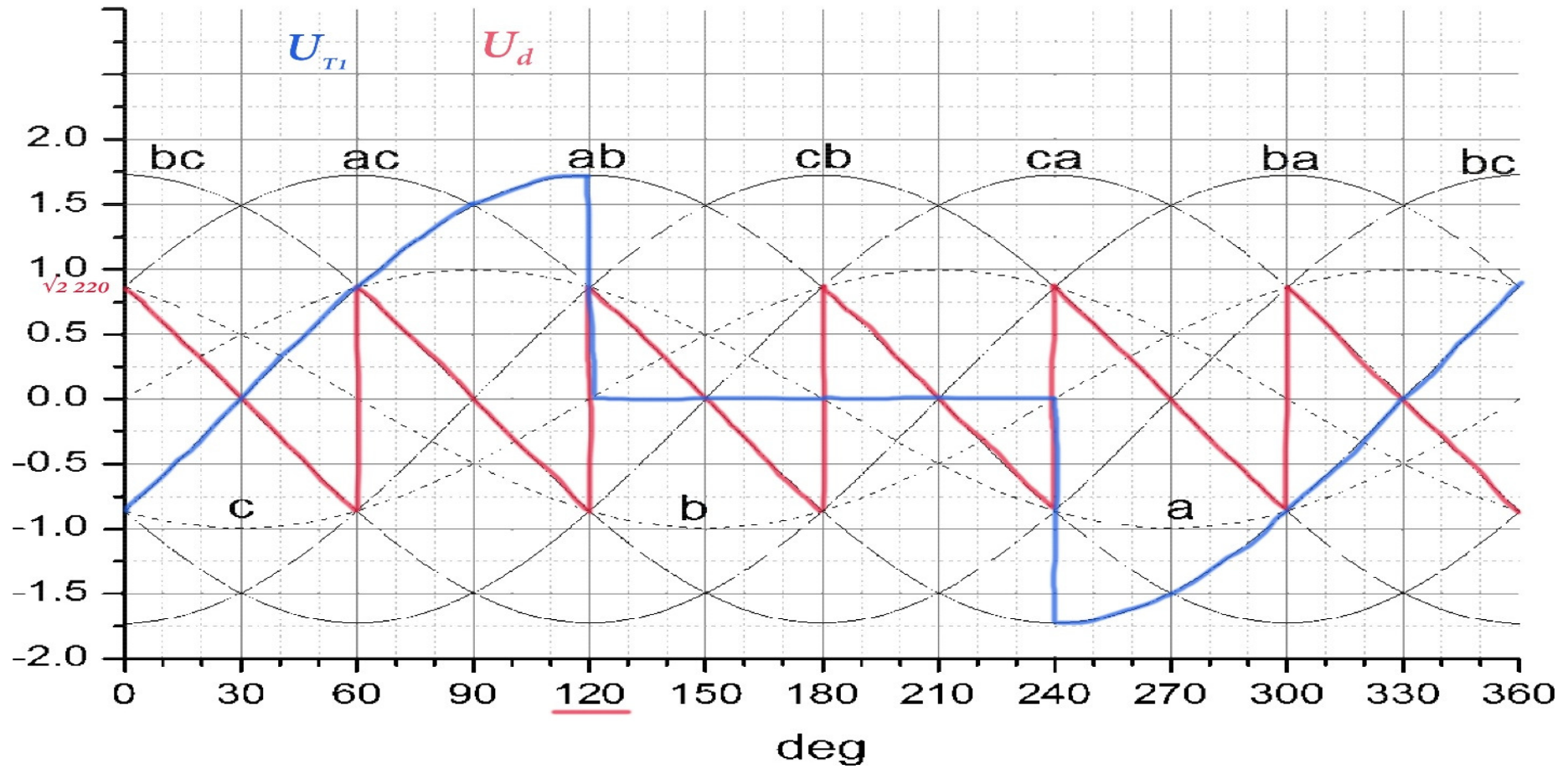
$$R_T = 0,2 \ \Omega \quad \eta_N = 85\%$$

$$P_N = 8 \text{ kW} \quad n_N = 1500 \text{ l/min}$$





ΛΥΣΗ



2) Για  $\alpha = 90^\circ$   $U_d = 3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos\alpha$  (1)  $\Rightarrow U_d = 0$

Η μηχανή έχει μηδενική μέση τιμή τάσης, οπότε βρίσκεται στην κατάσταση εν κενώ ( $\Omega = \Omega_0$ ).

3) Για την ονομαστική ροπή έχω:  $P_N = M_N \Omega_N = M_N \frac{2\pi n_N}{60} \Rightarrow M_N = 60 \frac{P_N}{2\pi n_N} = 50,9 \text{ Nm}$

Για την απόδοση γνωρίζω ότι:  $\eta_N = \frac{P_N}{U_N I_{dN} + P_F} \Rightarrow I_{dN} = \frac{\frac{P_N}{\eta_N} - P_F}{U_N} = 38,2 \text{ A}$

Επιπλέον, θεωρούμε αμελητέες τις ροπές λόγω τριβών ( $M_{\text{τριβών}} = 0$ ) οπότε  $M_e = M_N + M_{\text{τριβών}} = M_N \Rightarrow M_e = 50,9 \text{ Nm}$

Όμως,  $M_e = C\Phi I_{dN}$  (2)  $\Rightarrow C\Phi = 1,33 \text{ Vs}$

$U_d = C\Phi\Omega + R_T I_{dN} \Rightarrow U_d = 1,33 \Omega + 7,646$  και λόγω της (1) γίνεται

$3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos\alpha = 1,33 \Omega + 7,646 \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\pi}{3\sqrt{2} U_{LL}} (1,33 \frac{2\pi n}{60} + 7,646)$

Τελικά,  $\alpha(t) = \cos^{-1} \left\{ \frac{\pi}{3\sqrt{2} U_{LL}} (1,33 \frac{2\pi n}{60} + 7,646) \right\}$

Με βάση το διάγραμμα οι στροφές ακολουθούν τη σχέση  $n = \pm a \cdot t$  όπου οι μέγιστες στροφές είναι  $n_N = 1500 \text{ l/min}$   
Άρα για την κλίση του διαγράμματος βρίσκω ότι  $a = 1500/0.5 = 3000$

Η μεταβολή της γωνίας για τα διάφορα διαστήματα προκύπτει:

- $0 < t < 0,5 : n = 3000t \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left\{ \frac{\pi}{3\sqrt{2} U_{LL}} \left( 1,33 * 2\pi \frac{3000 t}{60} + 7,646 \right) \right\}$

- $0,5 < t < 1 : n = 3000(1 - 2t) \rightarrow \alpha(t) = \cos^{-1} \left\{ \frac{\pi}{3\sqrt{2} U_{LL}} \left( -1,33 * 2\pi \frac{3000(1 - 2t)}{60} + 7,646 \right) \right\}$

KOK

## ΑΣΚΗΣΗ Α.7

### Ζητούμενα:

- A.7.1. Να σχεδιασθεί η τάση  $u_d(\omega t)$  και το ρεύμα  $i_R(t)$  για  $\alpha = 60^\circ$ .
- A.7.2. Να βρεθεί η ταχύτητα της μηχανής για  $\alpha = 60^\circ$ , εάν  $U_F = \text{σταθ.}$  και  $M = M_N$ .
- A.7.3. Για να λειτουργήσει το σύστημα σε γωνία  $\alpha = 120^\circ$ , τι πρέπει να αλλάξει στη μηχανή και γιατί;
- A.7.4. Εάν το θυρίστορ 5 καταστραφεί (διακοπεί), να σχεδιασθεί η τάση  $u_d(t)$ .

### Πηγή:

$$U_R = \sqrt{2} 220 \sin \omega t \text{ [V]}$$

$$U_S = \sqrt{2} 220 \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ [V]}$$

$$U_T = \sqrt{2} 220 \sin(\omega t - 240^\circ) \text{ [V]}$$

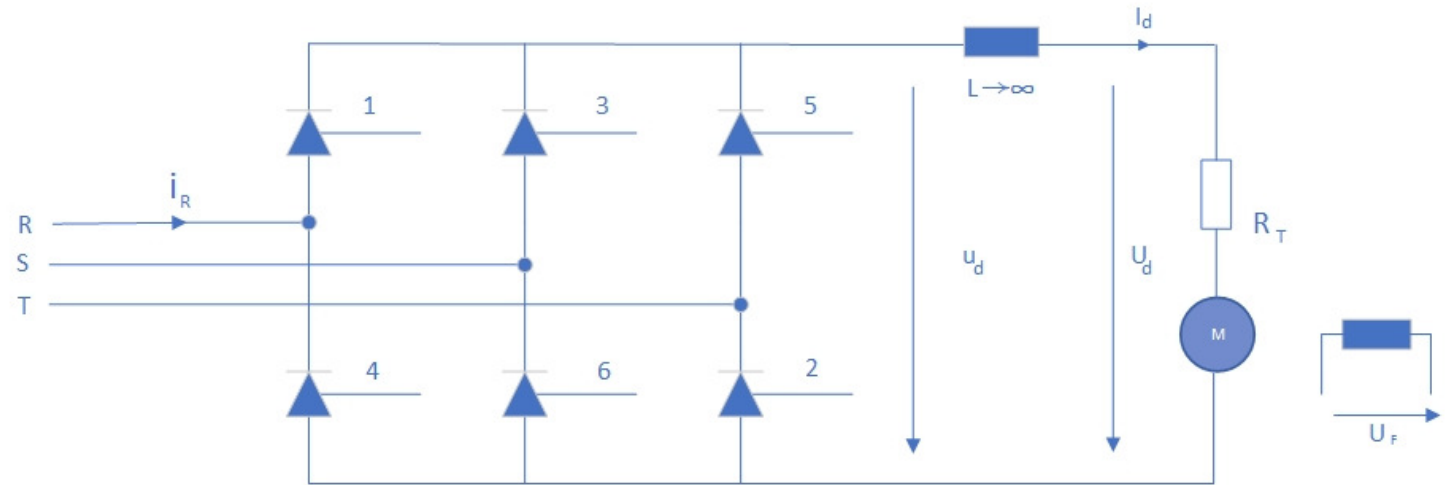
### Μηχανή:

$$U_N = 220 \text{ V} \quad \eta_N = 1000 \text{ l/min}$$

$$P_N = 10 \text{ kW} \quad R_T = 0,1 \ \Omega$$

$$U_F = 210 \text{ V} \quad \eta_N = 85\%$$

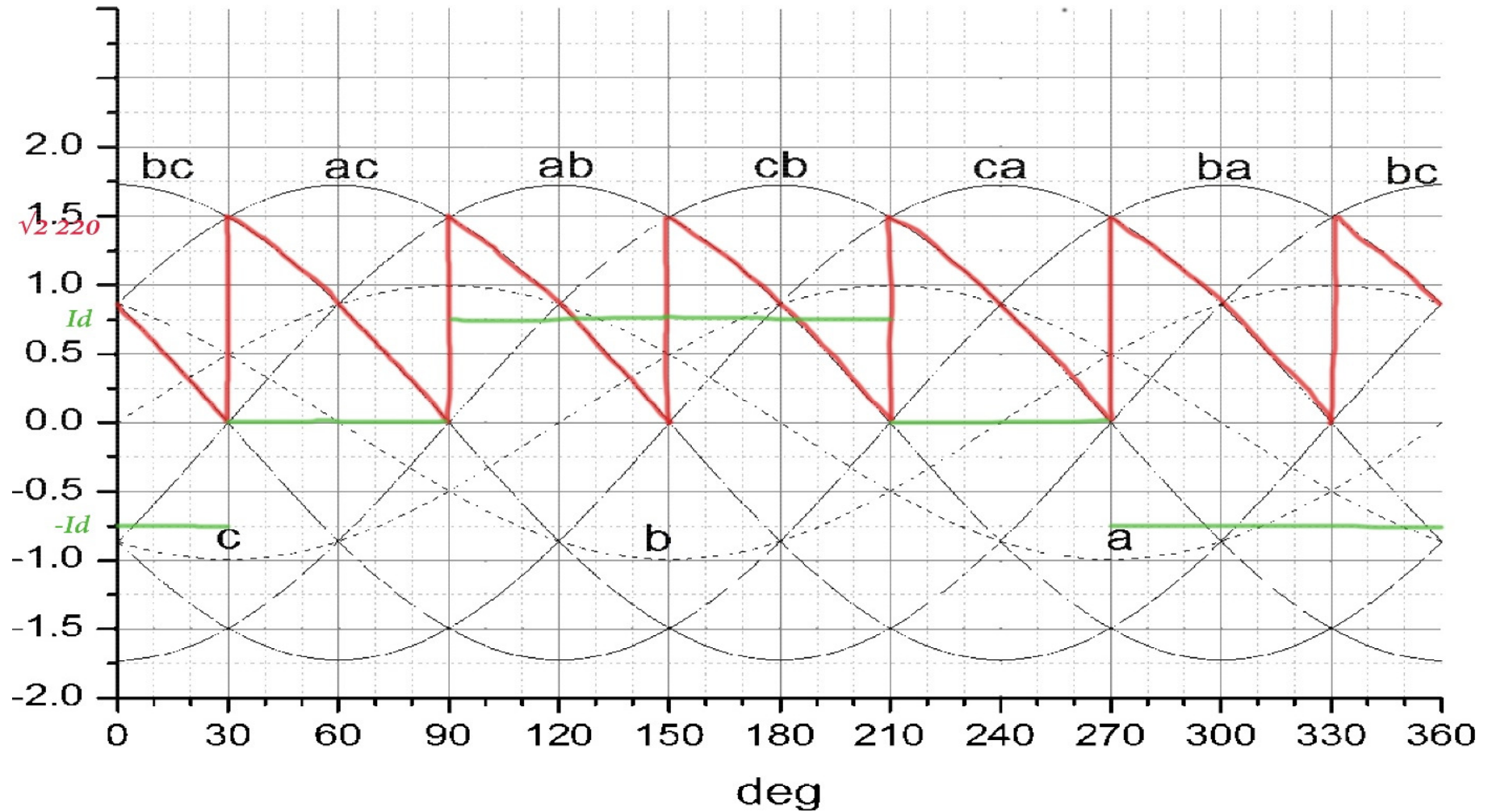
$$I_F = 2 \text{ A}$$



## ΛΥΣΗ

1) Στην τριφασική ανόρθωση ξεκινάμε να σχεδιάζουμε από  $30^\circ + \alpha = 30^\circ + 60^\circ = 90^\circ$ .

Κάθε ζεύγος άγει για  $60^\circ$



2) Για  $\alpha = 60^\circ$  υπολογίζουμε το  $U_d = 3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{LL} \cos \alpha \Rightarrow U_d = 257,3 \text{ V}$

$U_f = \text{σταθερό}$ ,  $M = M_N$ , και  $M_{\text{τριβών}}$  θεωρείται αμελητέο.

Για τον βαθμό απόδοσης ισχύει:  $\eta_N = \frac{P_N}{U_N I_{dN} + P_F} \Rightarrow I_{dN} = \frac{\frac{P_N}{\eta_N} - P_F}{U_N} = 51,6 \text{ A}$

Για την ονομαστική ισχύ:  $P_N = M_N \Omega_N = 2\pi M_N \frac{n_N}{60} \Rightarrow M_N = 60 \frac{P_N}{2\pi n_N} = 95,5 \text{ Nm}$

Οπότε  $M_N = C\Phi I_{dN} \Rightarrow C\Phi = \frac{M_N}{I_{dN}} = 1,85 \text{ Vs}$

Παίρνουμε τη σχέση στην οποία ο μόνος άγνωστος είναι το  $\Omega$ :  $\Omega = \frac{U_d}{c\phi} - \frac{R_T}{(c\phi)^2} M_e = 135,9 \text{ rad/s}$

Επομένως, η ζητούμενη ταχύτητα είναι  $n = \frac{60 \Omega}{2\pi} = 1298 \text{ στροφές / min}$

3) Για γωνία έναυσης πάνω από  $90^\circ$ , η γέφυρα λειτουργεί ως αντιστροφείας. Επομένως, απαιτείται η ύπαρξη κινητήριου μηχανισμού.

4) Εάν καταστραφεί κάποιο θυρίστορ συνεχίζει να άγει το προηγούμενο ζευγάρι. Για την περίπτωση που καταστρέφεται το 5 έχω:

Θυρίστορ	1,2	1,6	5,6	5,4	3,4
$U_d$	$U_{bc}$	$U_{ac}$	$U_{ab}$	-	$U_{ba}$

