

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΕΣ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΑΛΑΦΑΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	3
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	11
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	13
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	16
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	21
ΑΝΤΛΙΕΣ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	35
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	43
PID ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	48
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....	50
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.....	56
CASE STUDIES.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12.....	75
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η χρήση μετατροπέων συχνότητας στην βιομηχανία δεν είναι κάτι το πρωτόγνωρο, αφού τέτοιου είδους τεχνολογίες δεν αποτελούν κάτι το επίκαιρο μιας και έχουν κάνει την εμφάνισή τους στα εργοστάσια εδώ και τουλάχιστον τρεις δεκαετίες τώρα. Αν και οι τεχνολογίες των ηλεκτρονικών ισχύος ήταν γνωστές εδώ και πολλά χρόνια, ο τρόπος ελέγχου τους ήταν αυτός που άλλαζε από εποχή σε εποχή και έτσι το πέρασμα από την εποχή των αναλογικών στην εποχή των ψηφιακών ηλεκτρονικών σηματοδότησε και την ουσιαστική αλλαγή στον τρόπο ελέγχου των μετατροπέων ελέγχου συχνότητας – Variable Speed Drives. Η εισαγωγή των μετατροπέων στην βιομηχανία για την οδήγηση κινητήρων και ωμικών φορτίων ήταν αρχικά αρκετά διστακτική, μιας και το προσωπικό που ήταν «παλαιάς» κοπής αρνιόταν να ασπαστεί μια τεχνολογία τόσο νέα και δυσκολονόητη στην λειτουργία της, αλλά και στη συντήρησή της. Αυτό σημαίνει ότι από τη στιγμή που κάτι ήταν τόσο νέο, δεν υπήρχε το χρονικό διάστημα που είχε ο υπόλοιπος εξοπλισμός να δοκιμαστεί στον χρόνο και να αποδείξει την αξιοπιστία του. Ακόμα όμως και σήμερα που κάτι τέτοιο πλέον είναι αυταπόδεικτο, είναι πολύ δύσκολο τα ανώτερα κλιμάκια της φάμπρικας να κατανοήσουν και να εμπεδώσουν την έννοια της απόσβεσης. Αγοράζοντας κάποιος έναν μετατροπέα συχνότητας, είναι πολύ δύσκολο να κατανοήσει ότι αυτός θα αποσβέσει το κόστος του στα δύο με τρία χρόνια και πέραν τούτου θα αρχίσει να δημιουργεί κέρδος για τον αγοραστή του. Ακόμα οι πιο αξιόπιστες εταιρείες στην αγορά αρνούνται να ρίξουν το κόστος αγοράς με αποτέλεσμα ο αγοραστής να πρέπει να καταφύγει σε πιο δευτεροκλασάτες εταιρείες προκειμένου να μειώσει τον χρόνο απόσβεσης και να κάνει το προϊόν πιο δελεαστικό προς αγορά. Στην παρούσα εργασία θα προσπαθήσουμε να αποδείξουμε ότι η χρήση μετατροπέων συχνότητας στις αντλίες χαμηλής τάσης πραγματικά αξίζει τον κόπο, μιας και η απόσβεση του κόστους αγοράς και εγκατάστασης είναι εξαιρετικά σύντομη, αυξάνοντας μάλιστα και τον χρόνο ζωής των κινητήρων που οδηγούνται από αυτόν τον εξοπλισμό. Θα χρησιμοποιηθούν ζωντανά παραδείγματα πέραν της θεωρίας, τόσο από την βιβλιογραφία, όσο και από εφαρμογές που έχουν γίνει στην Motor Oil Hellas – Διυλιστήριο Κορίνθου. Θα δοθεί τελικά έμφαση στις φυγοκεντρικές κυρίως αντλίες, μιας και η εμπειρία έχει αποδείξει ότι σε αυτές ο χρόνος απόσβεσης και κατά συνέπεια το κέρδος είναι ακόμα μεγαλύτερο.

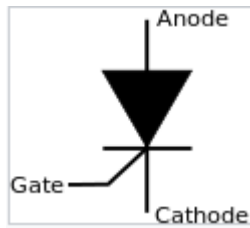
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

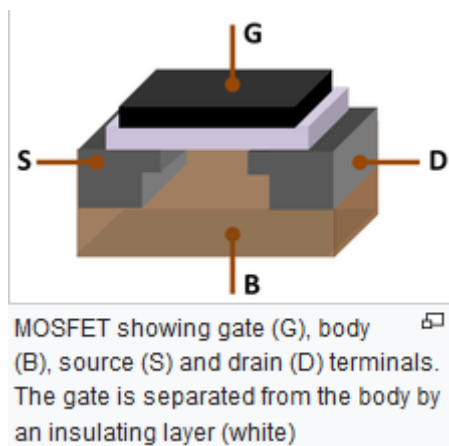
Η φιλοσοφία των μετατροπέων συχνότητας – Variable Speed Drives - βασίζεται στη μετατροπή της τριφασικής ή μονοφασικής τάσης των 50Hz σε συνεχή και στη συνέχεια σε εναλλασσόμενη μεταβλητού πλάτους και συχνότητας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μεταβολή της ροπής και των στροφών του οδηγούμενου κινητήρα για τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Ο τρόπος με τον οποίο γίνονται κάθε φορά οι μετατροπές αυτές είναι και αυτός που καθορίζει τις διάφορες κατηγορίες των μετατροπέων συχνότητας. Η καρδιά των μετατροπέων είναι τα ηλεκτρονικά ισχύος, οπότε θα πρέπει να γίνει μια σύντομη αναφορά σε αυτά και μια ιστορική αναδρομή στον τρόπο με τον οποίο αυτά εμφανίστηκαν.

Την αυλαία των ηλεκτρονικών ισχύος άνοιξε το γνωστό σε όλους θυρίστορ στα τέλη της δεκαετίας του '50. Βαθμιαία εμφανίστηκαν και άλλοι τύποι ηλεκτρονικών ισχύος, όπως τα triacs, τα GTO – Gate Turn Off θυρίστορ, τα Bipolar Power Transistors – BPTs ή BJTs, τα MOSFET, MOS field effect transistors, τα Insulated Gate Bipolar Transistors ή IGBTs, κλπ. Μαζί με αυτή την επανάσταση στα ηλεκτρονικά ισχύος, η τάση και το ρεύμα των διατάξεων αυτών άρχισαν να μεγαλώνουν.

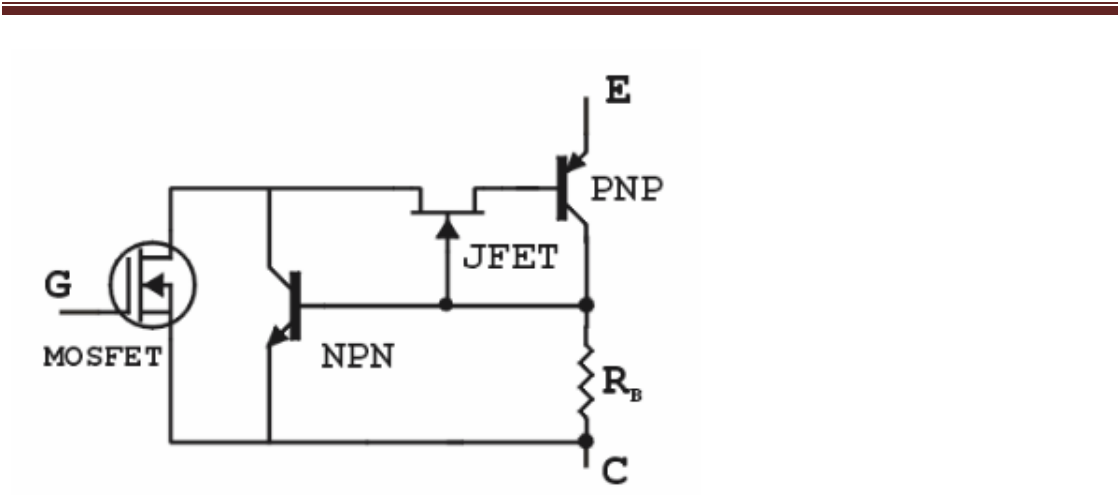
Το θυρίστορ είναι μια ημιαγώγιμη διάταξη με τέσσερα διαφορετικά επίπεδα όπου εναλλάσσονται θετικά και αρνητικά φορτία. Πρακτικά λειτουργεί ως διακόπτης που άγει το ηλεκτρικό ρεύμα όταν δέχεται στην πύλη του κάποιο μικρό ρεύμα σε μορφή παλμού και συνεχίζει να άγει για όσο η τάση στα άκρα του δεν αντιστρέφεται. Πολλές φορές η ονομασία του ταυτίζεται με αυτή του ανορθωτή SCR – silicon controlled rectifier, μιας και αυτή είναι η λειτουργία του. Παρακάτω φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση του θυρίστορ, όπου διακρίνεται η πύλη εναύσεως και η άνοδος με την κάθοδο.



Το MOSFET, ή αλλιώς metal oxide semiconductor field effect transistor αποτελείται από μία μονωμένη πύλη που η τάση της καθορίζει την αγωγιμότητα της διάταξης. Το πλεονέκτημα του σε σχέση με τα άλλα τρανζίστορ είναι ότι το ρεύμα εναύσεως είναι σχεδόν αμελητέο. Η αρχή λειτουργίας παραμένει ίδια, αφού ανάλογα με το ρεύμα εναύσεως μπορεί να άγει ή όχι το ηλεκτρικό ρεύμα. Μια σύντομη αναπαράσταση του φαίνεται παρακάτω.



Το IGBT είναι ένα ημιαγωγικό στοιχείο τριών ακροδεκτών που ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε σαν ηλεκτρικός απλά διακόπτης, στη συνέχεια αναπτύχθηκε έχοντας μεγαλύτερες τάσεις και ρεύματα και μεγαλύτερες διακοπτικές λειτουργίες κατακλύζοντας την αγορά των μετατροπών συχνότητας. Αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα θετικών και αρνητικών φορτίων που ελέγχονται από μια MOS – metal oxide semiconductor - πύλη, όπως εικονίζεται παρακάτω.



Η παρουσίαση των ηλεκτρονικών ισχύος θα μπορούσε να πάρει αρκετές σελίδες, ωστόσο στόχος της εργασίας δεν είναι κάτι το οποίο έχει αναπτυχθεί κατά κόρον τα τελευταία χρόνια, αλλά η εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος στους μετατροπείς συχνότητας και κατά συνέπεια στις φυγοκεντρικές κυρίως αντλίες χαμηλής τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

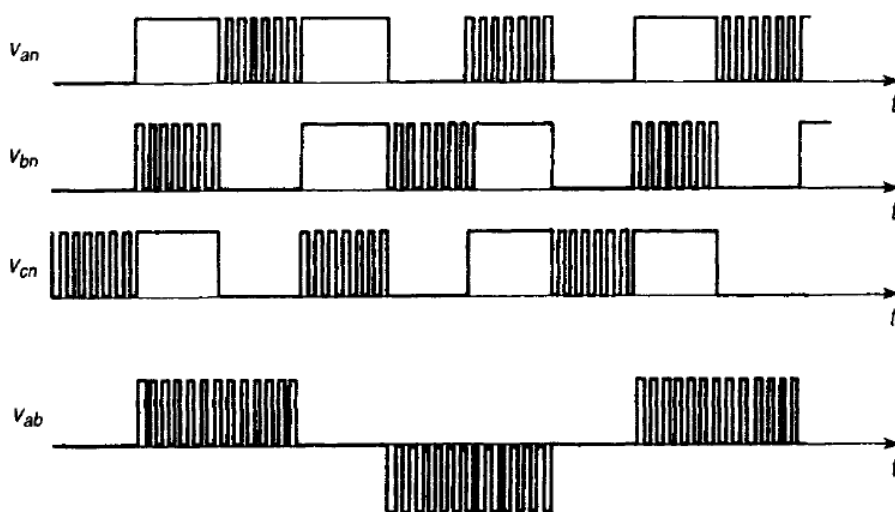
Προτού προχωρήσουμε κρίνεται απαραίτητη μια σύντομη αναφορά στις κατηγορίες μετατροπέων συχνότητας που μπορούν να βρεθούν στο εμπόριο, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και τις διάφορες εφαρμογές.

- **Voltage Source Inverter - VSI**

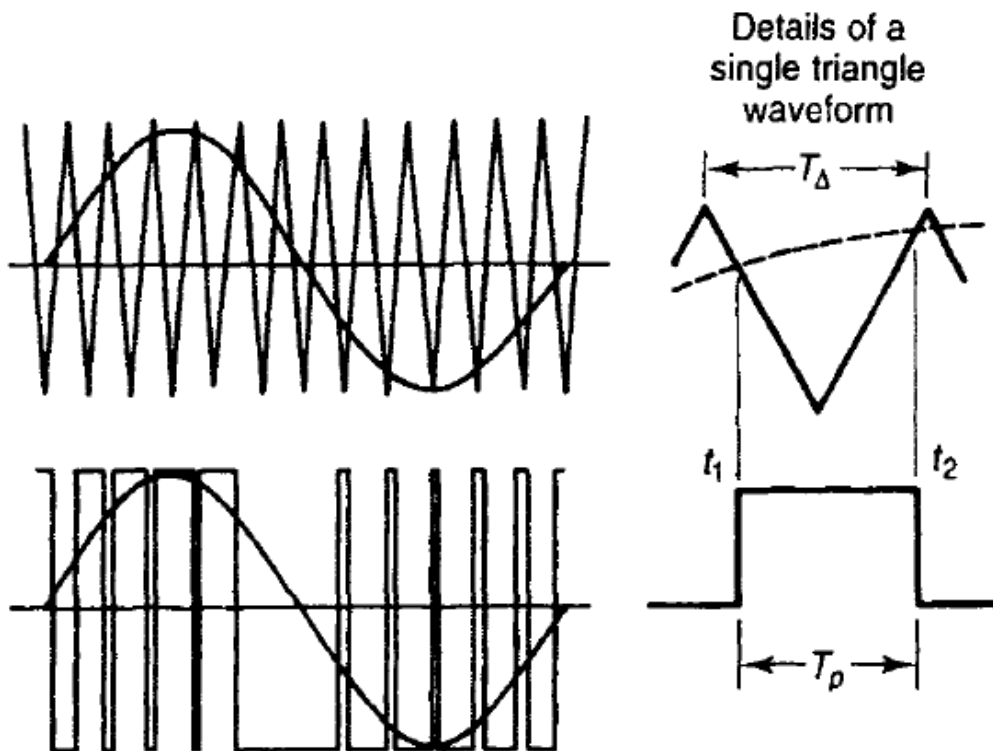
Ένας τέτοιος μετατροπέας ελέγχει την τάση στην έξοδο και το ρεύμα εξόδου καθορίζεται από την εκάστοτε σύνθετη αντίσταση του τυλίγματος του κινητήρα. Διατίθενται για τον έλεγχο σερβοκινητήρων από 250W σε μεγάλες ταχύτητες, μέχρι και αρκετές εκατοντάδες KW.

- **Voltage Source Pulse Width Modulated Inverter – PWM**

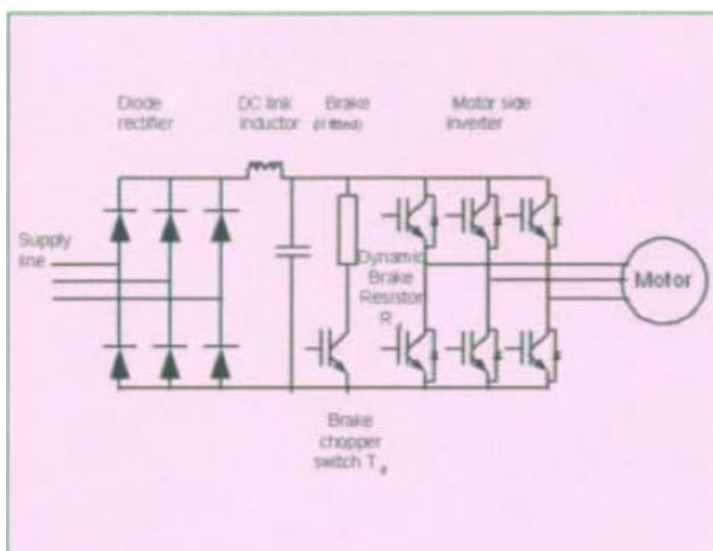
Ένας τέτοιος μετατροπέας κάνει έλεγχο τάσης και συχνότητας παράλληλα. Χρησιμοποιεί μη ελεγχόμενο ανορθωτή ή μπαταρία για να δημιουργήσει την DC συνιστώσα της τάσης – DC Link. Στη συνέχεια με την χρήση ελεγχόμενου μετατροπέα συνήθως με IGBTs για μεγαλύτερες διακοπτικές συχνότητες, κάνει τη μετατροπή σε παλμούς σταθερού ή ελεγχόμενου εύρους. Αντί να μεταβάλλεται το πλάτος της τάσης εξόδου, μεταβάλλεται το εύρος των παλμών ώστε να αντιστοιχεί στην επιθυμητή ταχύτητα του κινητήρα, όπως φαίνεται παρακάτω.



Επίσης σε διαφορετική μέθοδο ελέγχου, η διακοπτική λειτουργία προσαρμόζεται έτσι ώστε το αποδιδόμενο ρεύμα στον κινητήρα να πλησιάζει κατά το δυνατό την ημιτονοειδή μορφή, έτσι ώστε σε συνδυασμό με την εξομάλυνση που ακολουθεί από το τύλιγμα του κινητήρα να αποκτά το επιθυμητό ημιτονοειδές ρεύμα που χρειάζεται, όπως φαίνεται παρακάτω.



Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μορφή ελέγχου στους σύγχρονους μετατροπείς και χρησιμοποιείται κατά κόρον. Παρακάτω εικονίζεται ένας τέτοιος μετατροπέας συχνότητας με δυνατότητα φρεναρίσματος του κινητήρα.

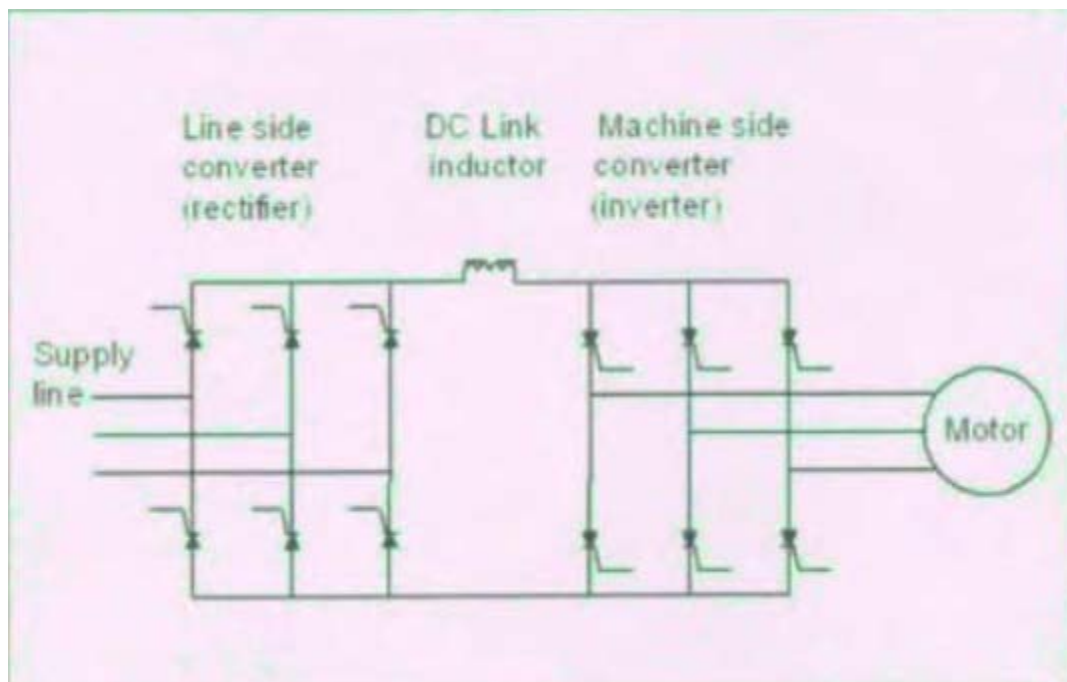


- **Voltage Source Pulse Amplitude Modulated Inverter – PAM**

Σε αυτού του είδους τους μετατροπείς μεταβάλλεται η DC τάση με την χρήση ελεγχόμενων ανορθωτών και κρατιέται με την χρήση ενός πυκνωτή. Στη συνέχεια ο μετατροπέας από την πλευρά του κινητήρα παράγει έναν παλμό τάσης μεταβλητού πλάτους για κάθε μισό κύκλο λειτουργίας παρέχοντας στον κινητήρα το ρεύμα που κάθε φορά χρειάζεται. Αν και δεν αποτελεί τον βέλτιστο τρόπο ελέγχου, ωστόσο είναι αυτός που στρεσάρει το λιγότερο δυνατό τον κινητήρα.

- **Current Source Inverter – CSI**

Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου το ρεύμα είναι αυτό που κρατιέται σταθερό και υποβάλλεται σε διακοπτικές λειτουργίες, ενώ η τάση προκύπτει ως αποτέλεσμα της σύνθετης αντίστασης του κινητήρα. Χρησιμοποιεί ελεγχόμενο ανορθωτή και μετατροπέα, όπως φαίνεται παρακάτω. Δεν έχει εκτεταμένες εφαρμογές λόγω των μεγάλων ωμικών απωλειών που παρουσιάζει.



- **Load Commutated Inverter - LCI**

Αυτός ο τύπος μετατροπέα χρησιμοποιείται κυρίως κατά την εκκίνηση μεγάλως σύγχρονων κινητήρων, όπου η χρήση μιας από τις άλλες τεχνολογίες θα ήταν

εξαιρετικά ακριβή. Με τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης, ελέγχεται στην ουσία η συμπεριφορά του κινητήρα.

- **Slip Energy Recovery – Kramer Drive**

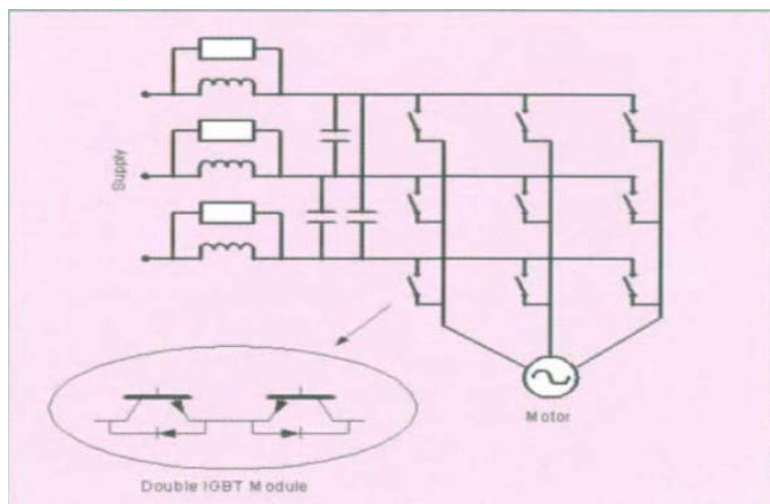
Με αυτόν τον μετατροπέα ελέγχεται η ολίσθηση σε ασύγχρονους κινητήρες με αποτέλεσμα την μεταβολή των στροφών σε χαμηλά κυρίως επίπεδα. Η ενέργεια κατά την μεταβολή της ολίσθησης δεν χάνεται, αλλά επιστρέφει πίσω στο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό ελέγχου δεν επιτυγχάνεται ποτέ η ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα, αλλά μία ταχύτητα μικρότερη αυτής.

- **Κυκλομετατροπέας**

Οι κυκλομετατροπείς είναι διατάξεις που μεταβάλλουν το πλάτος και την συχνότητα της τάσης απευθείας, δίχως να μεσολαβεί ενδιάμεσα στάδιο DC – συνιστώσας. Χρησιμοποιούνται σε σύγχρονους και ασύγχρονους κινητήρες σε εφαρμογές όπου απαιτούνται χαμηλές ταχύτητες, μιας και η μετασχηματιζόμενη τάση δε μπορεί να υπερβαίνει σε συχνότητα το ένα τρίτο της ονομαστικής. Για την διάταξη απαιτούνται εκτός από τα ημιαγωγικά στοιχεία και ειδικοί μετασχηματιστές ισχύος με τριφασικά δευτερεύοντα τυλίγματα ειδικής συνδεσμολογίας. Κύρια μειονεκτήματα αποτελούν η πολυπλοκότητα της διάταξης, ο χαμηλός συντελεστής ισχύος και οι αυξημένες αρμονικές.

- **Matrix Converter**

Επίσης αυτός ο τύπος μετατροπέα κάνει απευθείας μετατροπή της τάσης τόσο στο πλάτος, όσο και στη συχνότητα δίχως τη μεσολάβηση DC συνιστώσας. Χρησιμοποιεί 18 IGBTs με διόδους, όπως φαίνεται παρακάτω και η τάση εξόδου δεν ξεπερνά το 70% της τάσης εισόδου.



Κατά την λειτουργία του μετατροπέα παρέχεται κατά περίπτωση η δυνατότητα, όταν η αποδιδόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, η επιπλέον ισχύς μπορεί να καταναλώνεται σε ωμικές αντιστάσεις – Dissipative Design – ή να επιστρέφεται πίσω στο δίκτυο – Regenerative Design.

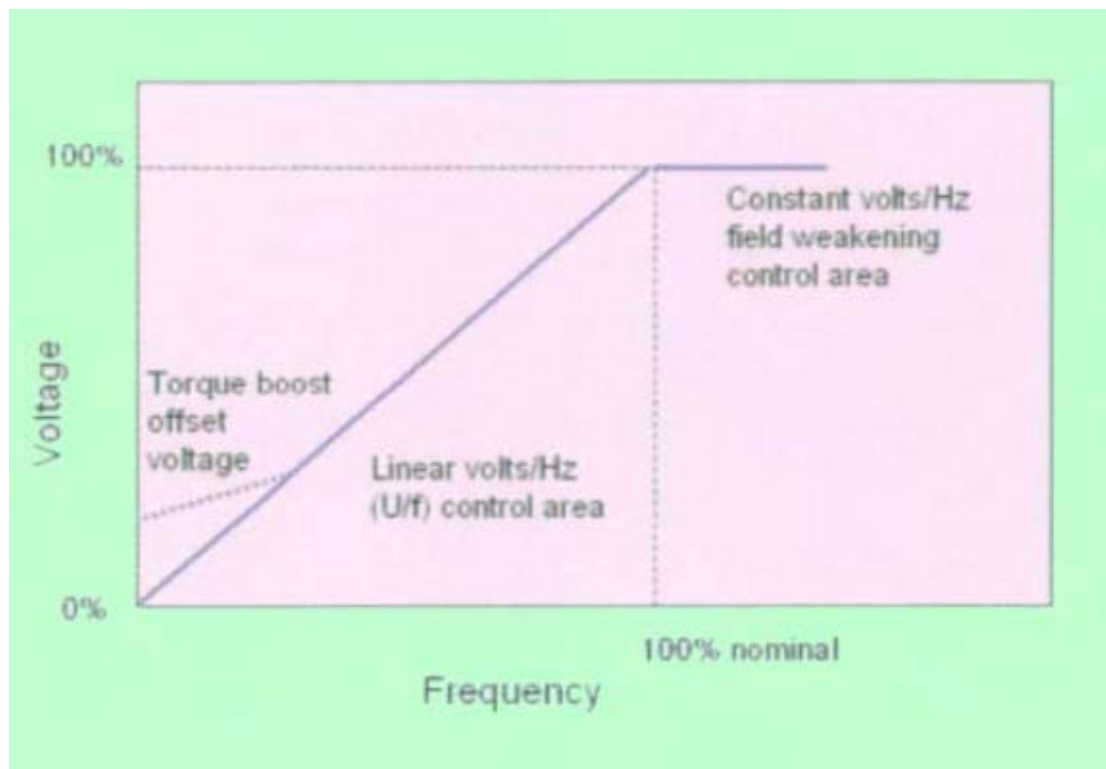
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και την εναλλαγή διαφορετικών ροπών και ταχυτήτων, οι μετατροπείς συχνότητας μπορεί να έχουν ποικίλους τρόπους ελέγχου.

- **U/f Control**

Η μετατροπή Voltage/ frequency εφαρμόζεται σε PAM ή PWM μετατροπείς. Ο λόγος της τάσης προς τη συχνότητα παραμένει σταθερός, αν και μεταβάλλονται ανάλογα τόσο η τάση σε πλάτος, όσο και η συχνότητα. Αυτό συμβαίνει ώστε η παραγόμενη ροπή στον άξονα του κινητήρα να παραμένει κατά το δυνατό σταθερή, μιας και είναι ανάλογη προς τον λόγο U/f. Αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο και απλουστευμένο τρόπο ελέγχου και μια γραφική απεικόνιση εικονίζεται παρακάτω.



- **Closed Loop Control**

Αποτελεί τεχνική ελέγχου με ανάδραση, στην περίπτωση κατά την οποία ειδική παλμογεννήτρια τοποθετείται στον άξονα του κινητήρα για να υπολογίζει την ταχύτητα περιστροφής με ακρίβεια. Κανονικά οι μετατροπείς συχνότητας έχουν την δυνατότητα να υπολογίζουν έμμεσα την ταχύτητα περιστροφής με την χρήση μαθηματικού μοντέλου, ανάλογα με το απορροφούμενο ρεύμα και την εφαρμοζόμενη τάση. Ωστόσο η πραγματική και ακριβής ταχύτητα περιστροφής μπορεί να υπολογιστεί μόνο με την χρήση κάποιας παλμογεννήτριας στον άξονα, η οποία στέλνει το ακριβές μέγεθος στον μετατροπέα, ο οποίος το υπολογίζει στο κύκλωμα ελέγχου του. Αν και η μέθοδος αυτή είναι πιο ακριβής, ωστόσο δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις μεγάλων μεταβολών στην ταχύτητα περιστροφής και στην ροπή του κινητήρα.

- **Flux Vector Control**

Είναι η πιο ακριβής μέθοδος ελέγχου που παρέχει ανεξάρτητο έλεγχο της μαγνητικής ροής του κινητήρα και της ροπής του. Απαιτείται η ακριβής θέση του άξονα του κινητήρα με την χρήση κάποιου μορφομετατροπέα προσαρμοσμένου στον άξονα του κινητήρα. Ο μετατροπέας συχνότητας αποδίδει την μαγνητική ροή και ροπή στον κινητήρα με την μέθοδο PWM. Αποτελεί όπως αναφέρθηκε την ακριβέστερη μέθοδο ελέγχου στις πιο απαιτητικές εφαρμογές, όπως αναβατόρια μεταφοράς υλικών, μύλοι παρασκευής χαρτιού, κλπ.

- **Direct Flux And Motor Torque Control**

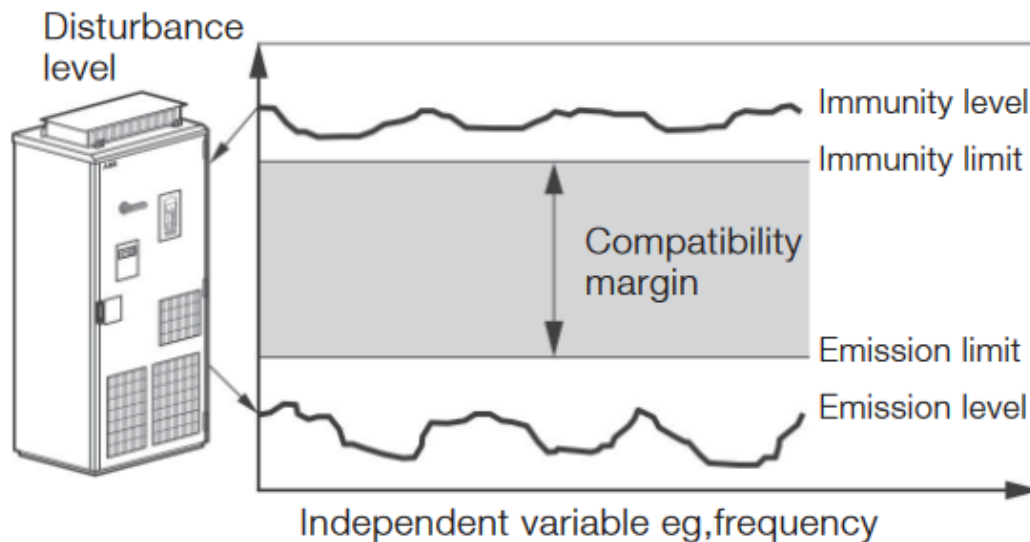
Η μέθοδος DTC – Direct Torque Control – χρησιμοποιεί ένα πολύ σοφιστικέ μοντέλο ελέγχου που βασίζεται στον υπολογισμού του μαγνητικού πεδίου. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη ροπή εκκίνησης και γενικά αποτελεί μέθοδο ελέγχου καλύτερη από αυτή κλειστού βρόχου – closed loop control.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

Η λειτουργία των μετατροπέων συχνότητας εκτός από τα λειτουργικά οφέλη, ενδεχομένως να έχει και ορισμένες ανεπιθύμητες ενέργειες. Η διακοπτική λειτουργία των ημιαγωγίμων στοιχείων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικρών σε μέγεθος ρευμάτων σε συχνότητες που είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας των 50Hz που φέρει το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Η παραγωγή αυτών των συνιστωσών μολύνει τον εκάστοτε εγκατεστημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό με ηλεκτρικά «παράσιτα» που το μόνο που κάνουν είναι να προκαλούν υπερθέρμανση στον εξοπλισμό. Επίσης η διακοπτική λειτουργία των ημιαγωγίμων στοιχείων είναι αυτή που προκαλεί ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στον περιβάλλοντα χώρο, ή αλλιώς μεταβάλλει σημαντικά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο των γύρω συσκευών εξ' επαγωγής. Για τον περιορισμό τέτοιου είδους συμπεριφορών δόθηκε ο όρος της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας, ή αλλιώς Electromagnetic Compatibility – EMC, όπως ονομάζεται.

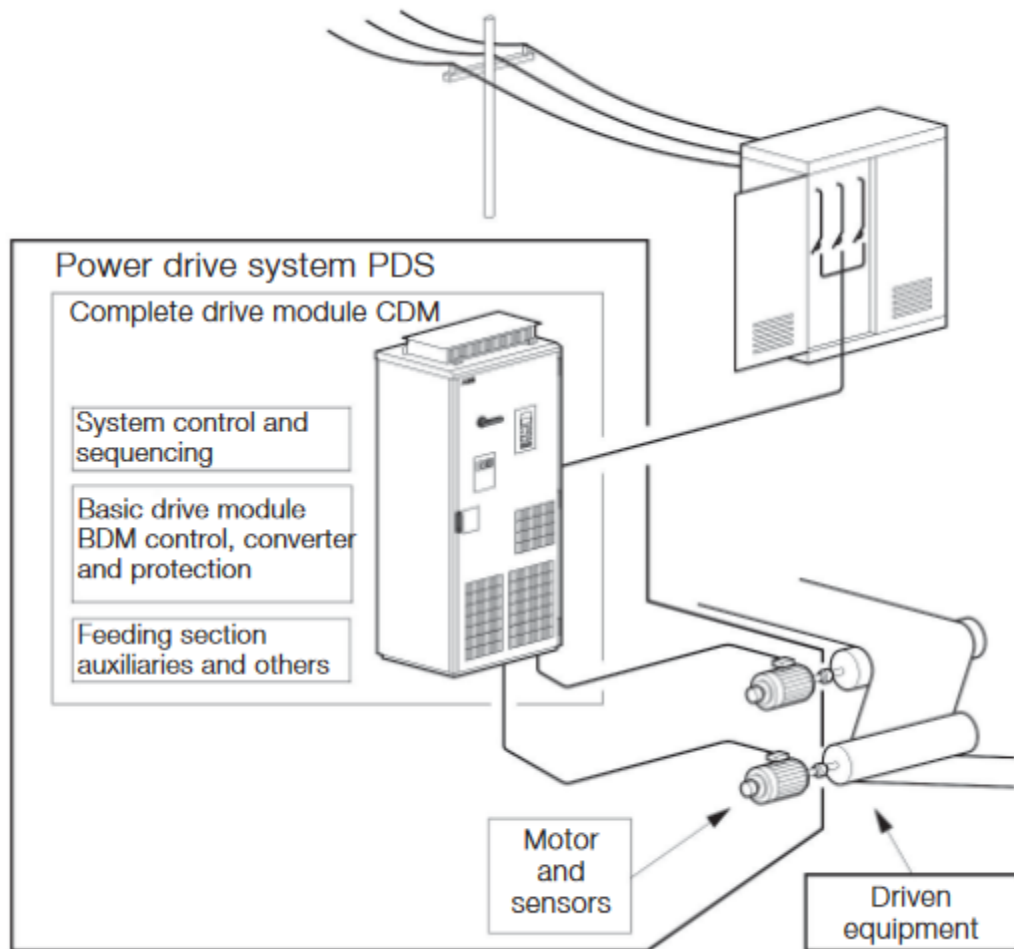
Ως ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα ορίζεται η ικανότητα μιας διάταξης ή ενός συστήματος να λειτουργεί χωρίς προβλήματα στο προοριζόμενο ηλεκτρομαγνητικό της περιβάλλον και χωρίς επίπεδα εκπομπών που θα μπορούσαν να βλάψουν τις γύρω συσκευές ή διατάξεις. Με τον ορισμό αυτό δημιουργούνται δύο νέες συνιστώσες. Η πρώτη είναι ότι ένας μετατροπέας συχνότητας δεν θα πρέπει να μολύνει το περιβάλλον του και η δεύτερη είναι ότι ένας μετατροπέας δεν θα πρέπει να επηρεάζεται ηλεκτρομαγνητικά από το γύρω του περιβάλλον. Κάτι τέτοιο αποτελεί πλέον νομική απαίτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εικονίζεται σχηματικά παρακάτω.



Με τον παραπάνω ορισμό δημιουργούνται οι έννοιες της Εκπομπής – Emission – και της ατρωσίας – Immunity. Ένας μετατροπέας συχνότητας θα πρέπει να παραμένει άτρωτος σε φαινόμενα υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων, όπως είναι οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, τα μεταβατικά ηλεκτρικά φαινόμενα, π.χ. βραχυκυκλώματα του γύρω εξοπλισμού, ραδιοκύματα, βολταϊκά τόξα, κλπ. Επίσης η διακοπτική λειτουργία των ημιαγωγών του μετατροπέα θα πρέπει να κρατιέται σε επίπεδα που δεν μολύνουν τον περιβάλλοντα εξοπλισμό – εκπομπές.

Όλοι οι μετατροπείς συχνότητας θα πρέπει να λειτουργούν με βάση τα όσα αναφέρονται στο πρότυπο EN-61800-3 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Στο παρακάτω σχήμα αναφέρονται τα μέρη ενός μετατροπέα συχνότητας και η συνάρτησή του από το γύρω περιβάλλον. Μέρος του μετατροπέα εκτός από τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου, οι πλακέτες επικοινωνίας, το κύκλωμα ισχύος, οι σένσορες σε περίπτωση ελέγχου κλειστού βρόχου με feedback και οι διατάξεις ηλεκτρικής προστασίας. Όλα αυτά τα κυκλώματα θα πρέπει με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία όχι μόνο να μην επηρεάζουν τον γύρω εξοπλισμό, αλλά επίσης να μην επηρεάζονται και από τον γύρω εξοπλισμό.

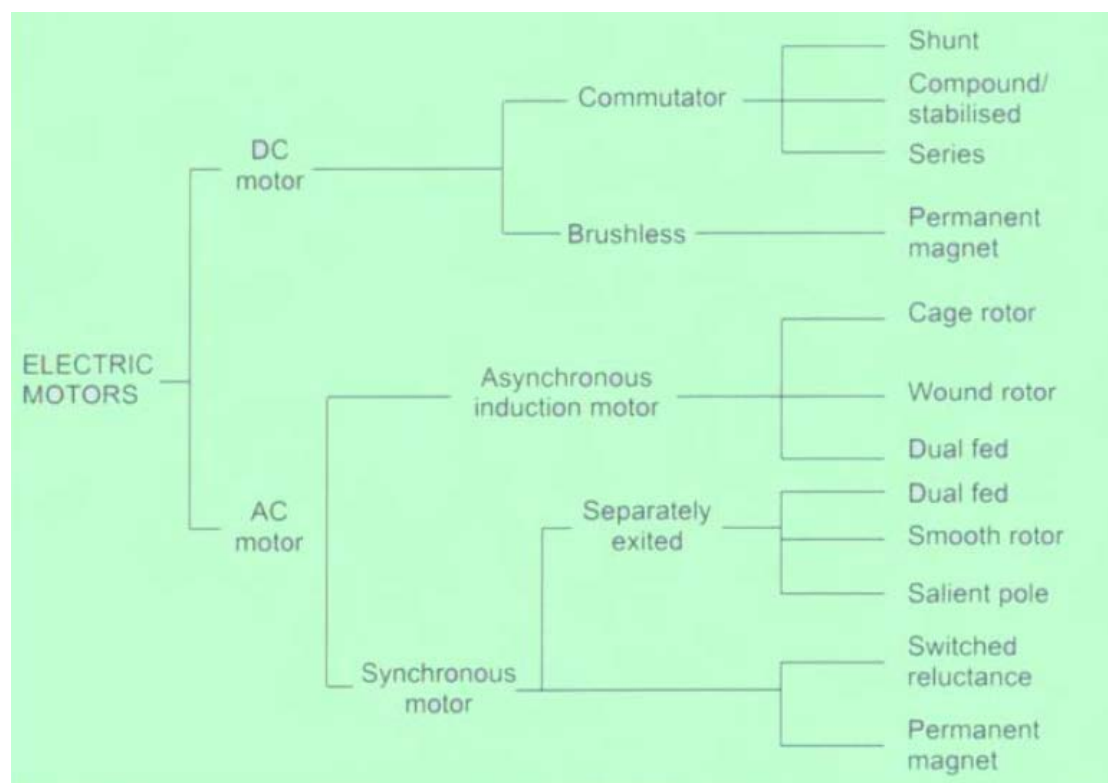
Installation or part of installation



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Αν και υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να οδηγηθεί μια αντλία, όπως οι ατμογεννήτριες και οι νηζελογεννήτριες, συνηθέστερος τρόπος οδήγησης των αντλιών είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες κατακλύζουν την αγορά τα τελευταία 150 χρόνια και μια σύντομη κατηγοριοποίηση τους φαίνεται παρακάτω.



Η επιλογή ενός κινητήρα για μια αντλία ποικίλει ανάλογα με την ταχύτητα, την ισχύ και την ικανότητα ηλεκτρικής τροφοδότησης και ανάλογα με το περιβάλλον εγκατάστασης και το μέσο ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί.

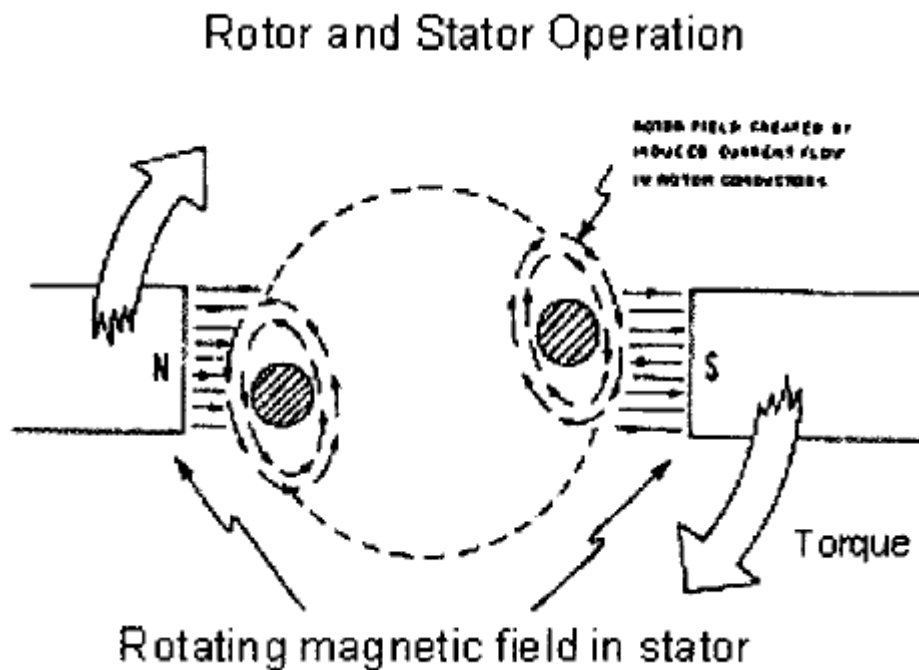
- **Ασύγχρονοι επαγωγικοί κινητήρες**

Οι ασύγχρονοι κινητήρες κλωβού ή βραχυκυκλωμένου δρομέα αποτελούν την πλέον διαδεδομένη κατηγορία κινητήρων στην βιομηχανία. Η αξιοπιστία τους σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος, την υψηλή απόδοση και την ευκολία κατασκευής του καθιστά το πιο διαδεδομένο είδος στην χρήση μετατροπένων συχνότητας. Τα παλαιότερα χρόνια η κλάση μόνωσης των τυλιγμάτων τους ήταν πολλές φορές απαγορευτική για την χρήση μετατροπένων συχνότητας, ωστόσο τα τελευταία 20 και πλέον χρόνια η μόνωση των κινητήρων επιτρέπει άφοβα την χρήση μετατροπένων συχνότητας. Παρακάτω εικονίζεται ένας ασύγχρονος κινητήρας κλωβού Ο στάτης αποτελείται από 3 τυλίγματα χαλκού και ο ρότορας από μπάρες αλουμινίου ή τυλίγματα χαλκού βραχυκυκλωμένα μεταξύ τους με δυο δαχτυλίδια στο εμπρός και πίσω μέρος του ρότορα.



Οι ασύγχρονοι κινητήρες κυλινδρικού δρομέα έχουν τυλίγματα στο στάτη και στον ρότορα, ο οποίος ρότορας συνδέεται με το κύκλωμα εκκίνησης με ψήκτρες. Λόγω της πολυπλοκότητας κατασκευής τους δεν χρησιμοποιούνται πολύ πλέον, Η αρχή λειτουργίας στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες είναι η εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικού περιστρεφόμενου πεδίου στο στάτη με επαγόμενο περιστρεφόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στον δρομέα που έπεται αυτού του στάτη.

Στόχος η πρόκληση ροπής στον δρομέα που προκαλεί την κίνηση του. Μια σχηματική απεικόνιση φαίνεται παρακάτω.

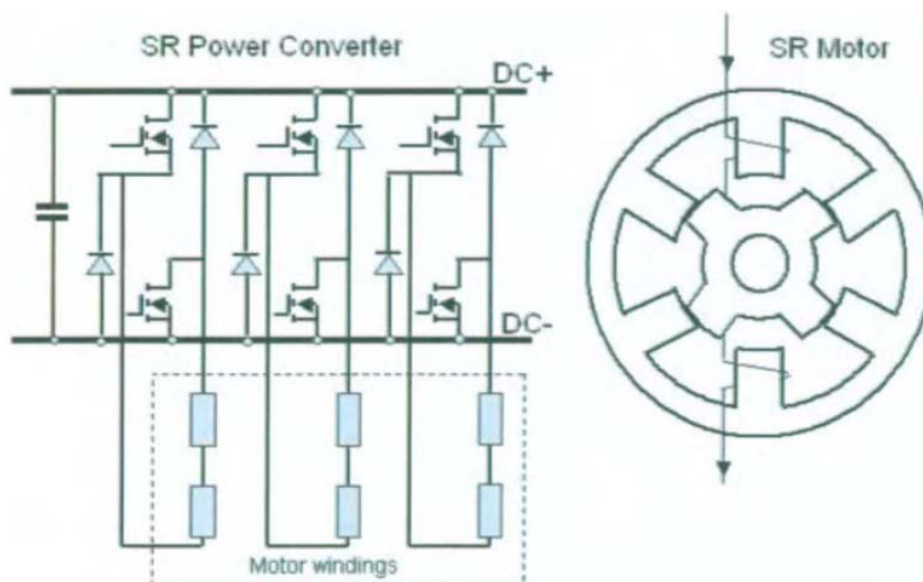


Η συνήθης κατασκευή ενός κινητήρα κλωβού είναι αυτή τριφασικού τυλίγματος συμμετρικού, με διαφορά 120 μοιρών ανά φάση. Υπάρχει η δυνατότητα εναλλακτικών κατασκευών, όπως αυτή ενός μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα. Στην περίπτωση αυτή γίνεται χρήση πυκνωτή, ο οποίος είναι αυτός που προσφέρει μια διαφορά φάσης 90 μοιρών στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του κινητήρα. Ο ασύγχρονος κινητήρας με την εφαρμογή της ονομαστικής τάσης στα τυλίγματά του θα φτάσει σταδιακά τις ονομαστικές του στροφές, υπολειπόμενες κατά 1-3% λόγω της ολίσθησης. Προκειμένου να μεταβληθούν οι ονομαστικές στροφές του κινητήρα, θα πρέπει να μεταβληθεί η εφαρμοζόμενη τάση ή η εφαρμοζόμενη συχνότητα, μιας και οι στροφές του κινητήρα δίνονται από τη σχέση $n=120f/p$, όπου p , ο αριθμός των πόλων του κινητήρα. Ορισμένοι ασύγχρονοι κινητήρες κατασκευάζονται με περισσότερα του ενός τυλίγματα, προκειμένου να εργάζονται σε περισσότερες της μιας ταχύτητες.

- **Σύγχρονοι Κινητήρες**

Σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτούνται κινητήρες μεγάλης ισχύος μεγαλύτερης των 5MW, η προτιμότερη λύση είναι ένας σύγχρονος κινητήρας, διότι παρουσιάζει μικρότερες απώλειες στον ρότορα και ψύχεται ευκολότερα. Οι σύγχρονοι κινητήρες συνήθως εξοπλίζονται με διεγέρτριες με μόνιμους μαγνήτες για την διέγερσή τους, ή με ένα κυλινδρικό τυλίγμα στον ρότορα. Σε αυτούς τους κινητήρες το στρεφόμενο πεδίο του στάτη και του δρομέα στρέφονται συγχρόνως και για τον λόγο αυτό δεν υπάρχει ολίσθηση.

Μια κατηγορία σύγχρονων κινητήρων με χρήση μετατροπών συχνότητας είναι και οι κινητήρες βηματικής μετατόπισης – switched reluctance motors. Ο ρότορας είναι ειδικής κατασκευής και η τάση τροφοδοτείται διαδοχικά σε μέρος των τυλιγμάτων του στάτη προκαλώντας ροπή στον ρότορα. Χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές και μια απεικόνιση δείχνεται παρακάτω.



Οι σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες παρουσιάζονται σε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές λόγω της μεγάλης τους απόδοσης. Ο στάτης φέρει τυλίγματα, ωστόσο ο ρότορας φέρει μόνιμους μαγνήτες και αποτελείται από δύο ή από τέσσερις πόλους. Η απόδοση ενός κινητήρα αυτού του είδους είναι μεγαλύτερη

του αντίστοιχου ασύγχρονου κινητήρα. Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μετατροπείς ισχύος με σύγχρονους κινητήρες, ωστόσο το συνολικό κόστος μαζί με αυτό του κινητήρα καθίσταται συνήθως απαγορευτικό.

- **Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος**

Οι συμβατικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος αποτελούνται κυρίως από κυλινδρικό δρομέα που με την βοήθεια ενός μετατροπέα εναλλάσσουν την τάση στα τυλίγματα προκαλώντας ροπή ικανή να υπερνικήσει την ροπή αδράνειας του κινητήρα. Αν και οι διατάξεις οδήγησης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος – DC Drives – είναι πολύ οικονομικότερες από τις αντίστοιχες των κινητήρων εναλλασσομένου – AC Drives – ωστόσο το απαγορευτικό κόστος αγοράς και συντήρησης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος οδήγησε στην προτίμηση μετατροπέων και κινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος.

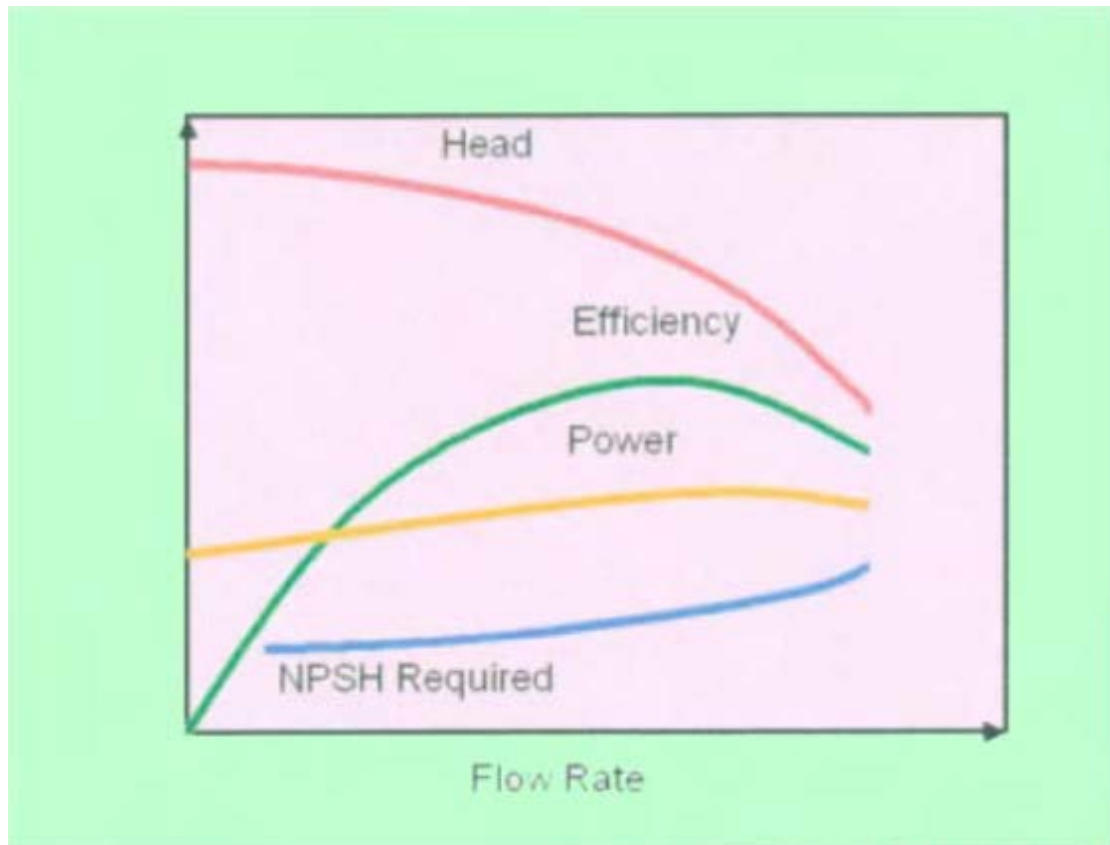
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΤΛΙΕΣ

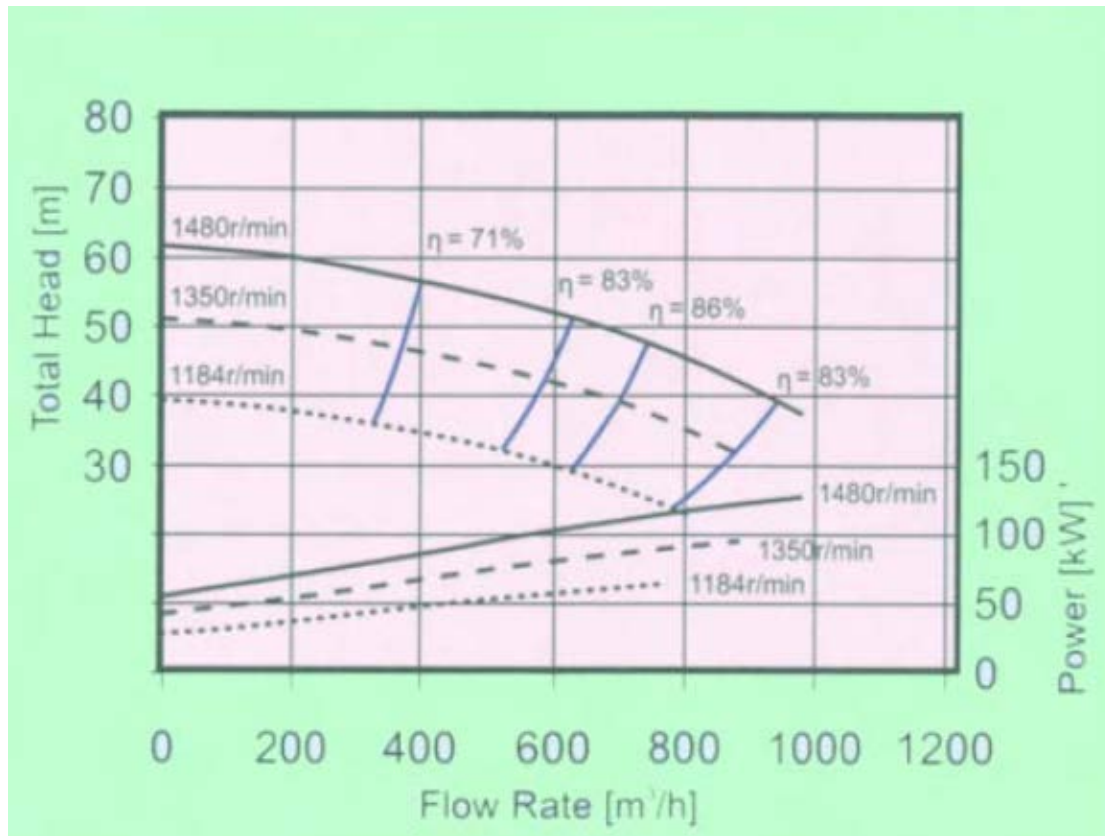
Οι αντλίες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις φυγοκεντρικές αντλίες και τις αντλίες θετικής μετατόπισης. Οι αντλίες θετικής μετατόπισης χωρίζονται με τη σειρά τους στις παλινδρομικές αντλίες και στις περιστροφικές αντλίες, ανάλογα με τον τρόπο κίνησης για την παραγωγή της πίεσης.

- **Φυγοκεντρικές Αντλίες**

Αποτελούν διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της πίεσης των υγρών. Περνώντας μέσα από αυτές το υγρό, δέχεται ενέργεια από την περιστρεφόμενη έλικα – impeller. Το υγρό επιταχύνει και εκτονώνει την ενέργεια αυτή αποκτώντας μεγάλη ταχύτητα που μεταφράζεται σαν αύξηση της πίεσης. Το σχήμα του κελύφους και της έλικας παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην απόκτηση των παραπάνω χαρακτηριστικών. Χαρακτηριστικό των αντλιών αυτών είναι το γράφημα που δείχνει την παροχή στον οριζόντιο άξονα και το υψομετρικό της αντλίας στον κάθετο άξονα, όπως φαίνεται παρακάτω.



Μια φυγοκεντρική αντλία είναι μια δυναμική διάταξη με ένα υψομετρικό που αποκτάται κατά την διέλευση από τον έλικα. Ωστόσο, υπάρχει κάποια μαθηματική σχέση ανάμεσα στο υψομετρικό και την ταχύτητα του έλικα. Η ταχύτητα του έλικα σχετίζεται με την γωνιακή ταχύτητα του άξονα της αντλίας, για σταθερή διάμετρο έλικα. Η παροχή της αντλίας είναι ανάλογη των στροφών με τις οποίες στρέφεται ο άξονάς της. Το υψομετρικό της αντλίας είναι ανάλογο με το τετράγωνο των στροφών με τις οποίες στρέφεται ο άξονάς της. Τέλος, η ενεργός ισχύς που απορροφάται από την αντλία είναι ανάλογη με τον κύβο των στροφών της. Μια απεικόνιση των παραπάνω φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

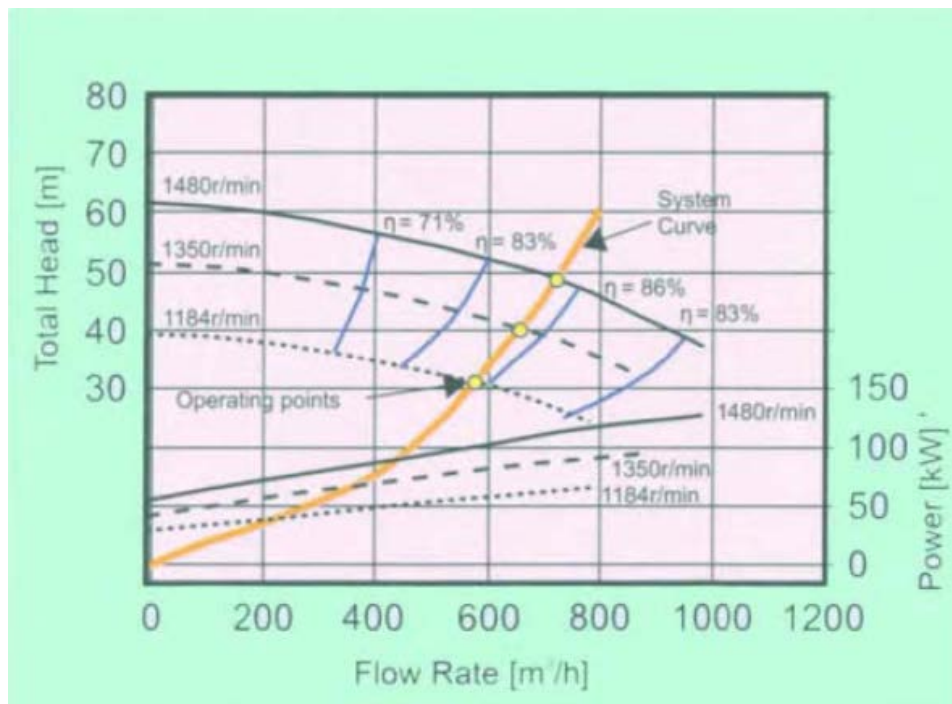


Από το σχήμα εξάγεται το συμπέρασμα ότι μικρές μεταβολές στις στροφές της αντλίας μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες μεταβολές στα μεγέθη της απορροφούμενης ισχύος και πίεσης. Αυτό είναι μια πρώτη απόδειξη για τα σημαντικά οικονομικά οφέλη της χρήσης μετατροπένων συχνότητας. Δηλαδή, μια μικρή μεταβολή στις στροφές μπορεί να προκαλέσει ασήμαντη μεταβολή στο υπομετρικό της αντλίας σε σχέση με τη μεταβολή της απορροφούμενης ισχύος από την αντλία. Σε περιπτώσεις που οι αλλαγές στην ταχύτητα της αντλίας είναι μεγάλες και οδηγούν σε ταχύτητες κάτω των 1000ΣΑΛ, καλό θα είναι πάντοτε να ρωτάται ο κατασκευαστής της αντλίας διότι υπάρχει ο κίνδυνος η αντλία να «ξεπιάνει» και να μην λειτουργεί σωστά. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις είναι παρακινδυνευμένη μια τέτοια λειτουργία μιας και το διακινούμενο υγρό ψύχει την αντλία και χρήση μιας αντλίας εν κενώ μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της επένδυσης γραφίτη που φέρει η αντλία.

Το υπομετρικό της αντλίας και άρα η πίεση που αποκτάται στον έλικα που έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα περιστροφής έχει μεγάλη σημασία. Αν η πίεση του υγρού δεν είναι αρκετή, τότε δημιουργούνται φυσαλίδες στο κέλυφος της αντλίας με αποτέλεσμα σταδιακά να διαβρώσουν το κέλυφος. Το φαινόμενο δημιουργίας φυσαλίδων καλείται «στηλαίωση» και επιπλέον μπορεί να προκαλέσει κραδασμούς στην αντλία και

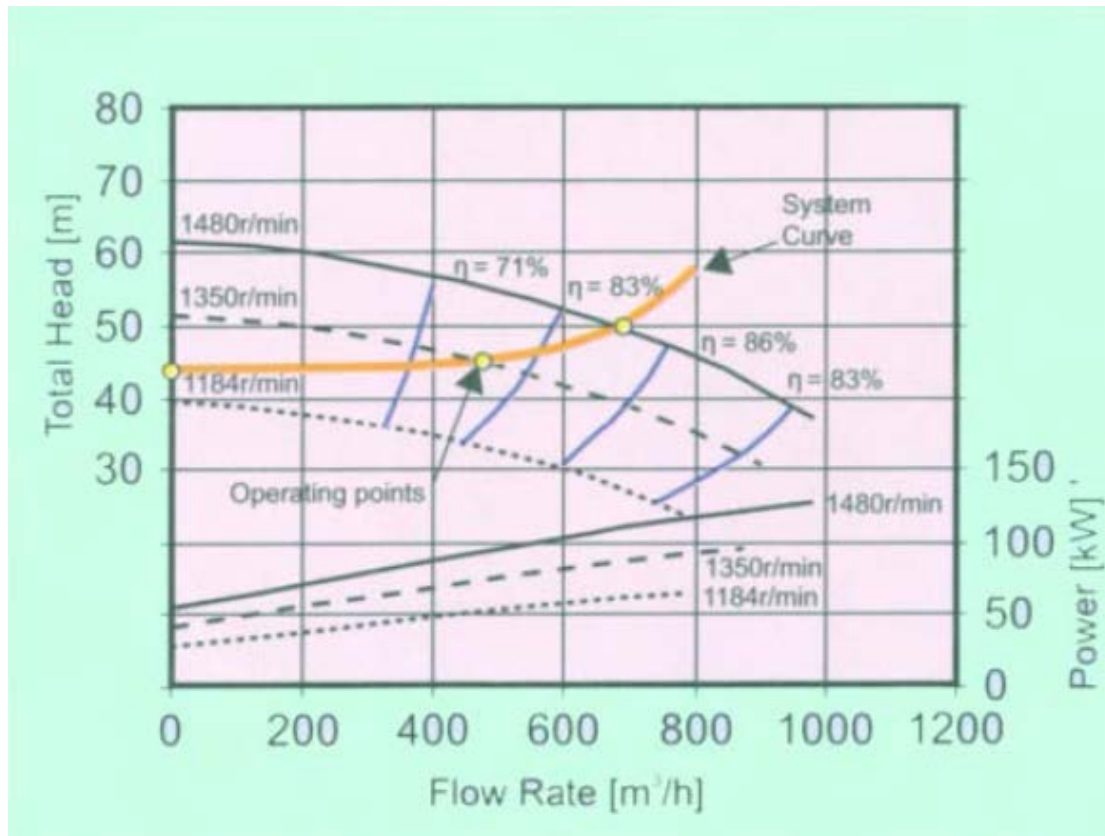
πρώρη καταστροφή των ρουλεμάν ή κουζινέτων. Επίσης προκαλεί εκκωφαντικούς θορύβους κατά την λειτουργία και σημαντική πτώση της απόδοσης της αντλίας. Επομένως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη μεταβολή των στροφών των φυγοκεντρικών αντλιών.

Η μεταβολή της ταχύτητας σε ένα σύστημα αντλίας μεταβλητού υψομετρικού, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οικονομικά οφέλη. Μια μείωση στις στροφές της αντλίας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του υψομετρικού και σημαντικότερη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, με ταυτόχρονη μείωση της πίεσης, αλλά σχετικά σταθερά επίπεδα ροής, όπως φαίνεται παρακάτω.



Με την κίτρινη γραμμή φαίνεται η ισορρόπηση της αντλίας σε νέο σημείο λειτουργίας χαμηλότερης ισχύος και υψομετρικού, αλλά σχεδόν αμετάβλητης παροχής, οπότε και τα οικονομικά οφέλη είναι σημαντικά.

Υπάρχουν όμως και οι περιπτώσεις συστημάτων όπου το υψομετρικό είναι στατικό και δε μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας. Η καμπύλη μιας τέτοιας αντλίας φαίνεται παρακάτω.



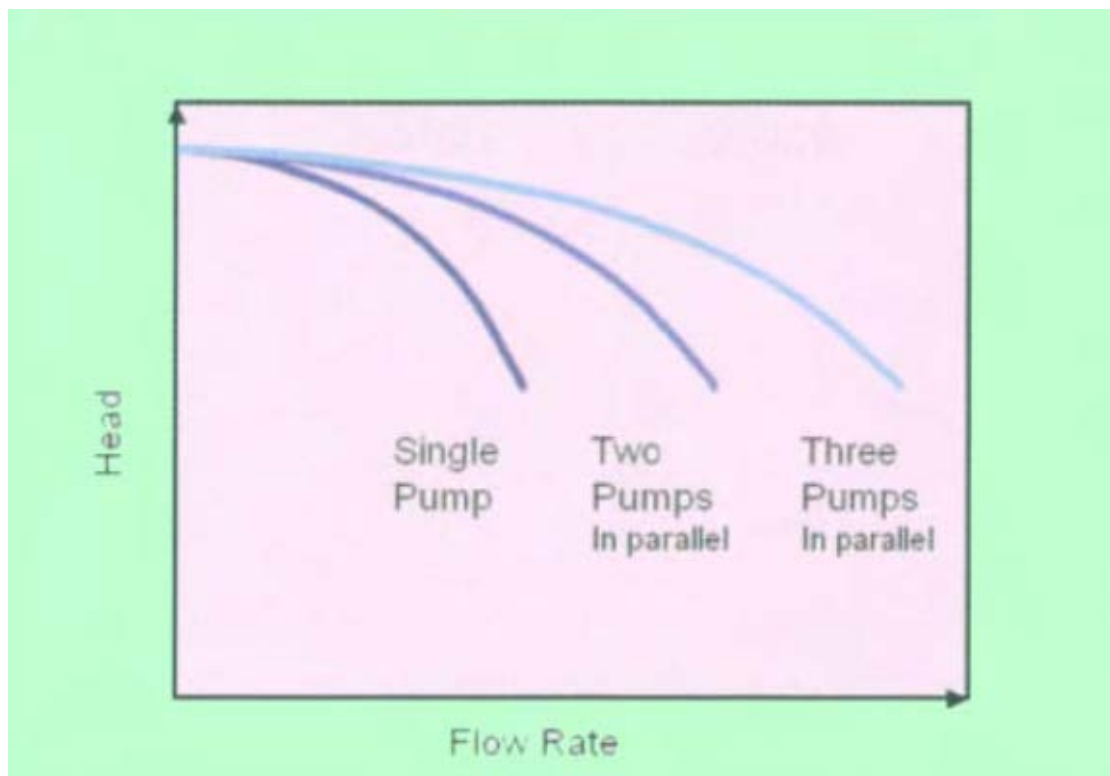
Η μείωση της ταχύτητας προκαλεί σχετικά μικρή μείωση του υψομετρικού και της πίεσης, αλλά σημαντική μείωση της παροχής. Σε μια τέτοια περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή μιας και η μείωση της παροχής του υγρού μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ψύξης της αντλίας και σε ορισμένες περιπτώσεις καταστροφή της αντλίας λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας. Σε κάθε περίπτωση επομένως που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μετατροπέας στροφών σε μία αντλία, θα πρέπει να λαμβάνει γνώση ο κατασκευαστής της αντλίας και να ενημερώνεται ο χρήστης τουλάχιστον με την καμπύλη λειτουργίας της αντλίας.

Τα οφέλη από τη μεταβολή – στην ουσία μείωση – της ταχύτητας περιστροφής μιας αντλίας, δεν περιορίζονται μόνο στο οικονομικό κομμάτι. Επεκτείνονται και στο κομμάτι της συντήρησης, αν και μακροσκελώς και αυτό ανάγεται πάλι σε οικονομικά μεγέθη. Οι υδραυλικές δυνάμεις στον έλικα μιας αντλίας που είναι αποτέλεσμα της πίεσης που αναπτύσσεται στο κέλυφός της, εξαρτώνται από το τετράγωνο της ταχύτητας περιστροφής. Οι δυνάμεις αυτές απορροφούνται από τα κουζινέτα ή ρουλεμάν του συστήματος, οπότε μια μείωση της ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των κραδασμών και κατά συνέπεια σε αύξηση του χρόνου ζωής τους. Έχει μάλιστα διαπιστωθεί πειραματικά ότι ο χρόνος ζωής των ρουλεμάν εξαρτάται από την έβδομη δύναμη της ταχύτητας περιστροφής. Γίνεται επομένως αντιληπτό πώς

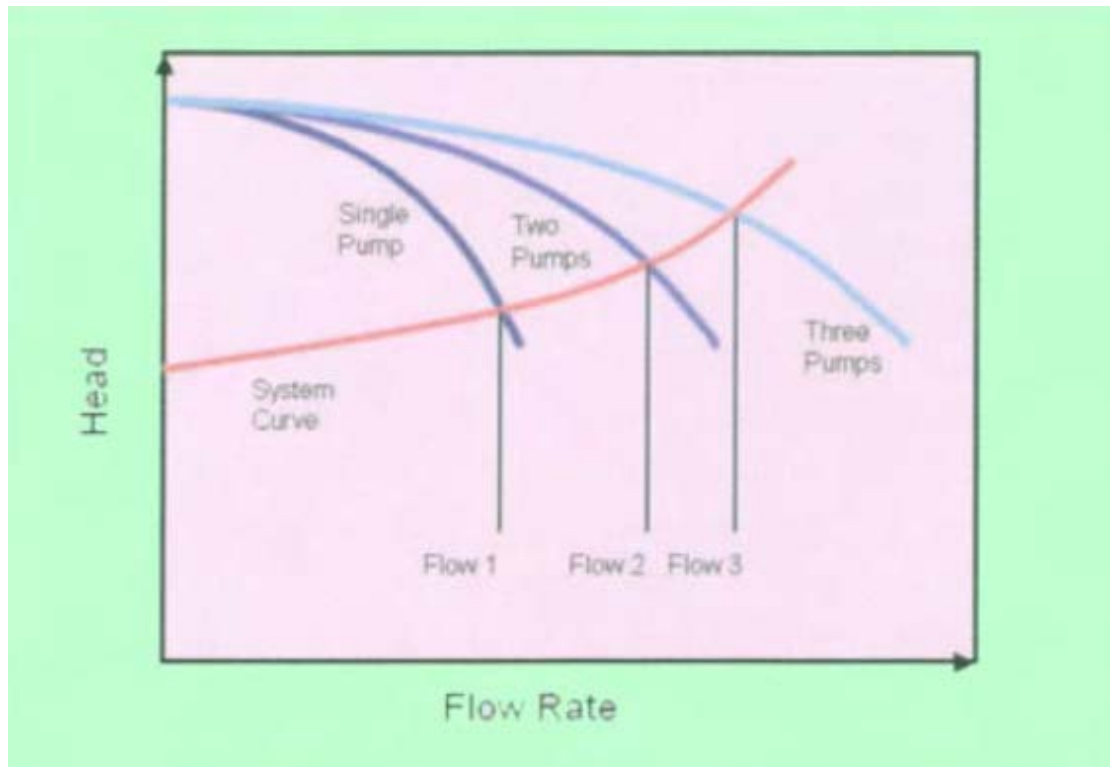
μια μικρή μείωση της ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε θεαματική αύξηση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού.

- **Φυγοκεντρικές αντλίες σε παράλληλη συνδεσμολογία**

Σε αυτή την περίπτωση, αν το υψομετρικό του συστήματος είναι στατικό, τότε με την πρόσθεση περισσότερων ομοίων αντλιών παράλληλα, η παροχή πολλαπλασιάζεται, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



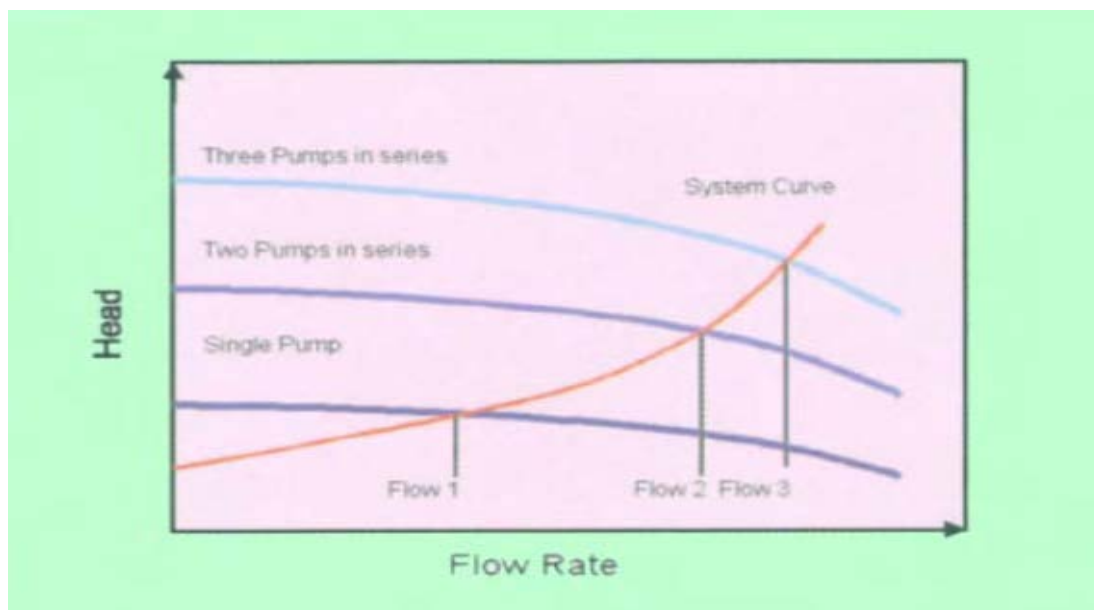
Η καμπύλη της αντλίας δε μεταβάλλεται ιδιαίτερα και το υψομετρικό και η πίεση δεν αλλάζουν. Ωστόσο, η παροχή μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των αντλιών. Στην περίπτωση που το υψομετρικό του συστήματος δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται, η καμπύλη παίρνει τη μορφή που φαίνεται παρακάτω.



Η πίεση και το υψομετρικό αυξάνονται, ωστόσο η παροχή δεν αυξάνεται με ανάλογο τρόπο, όπως προηγουμένως.

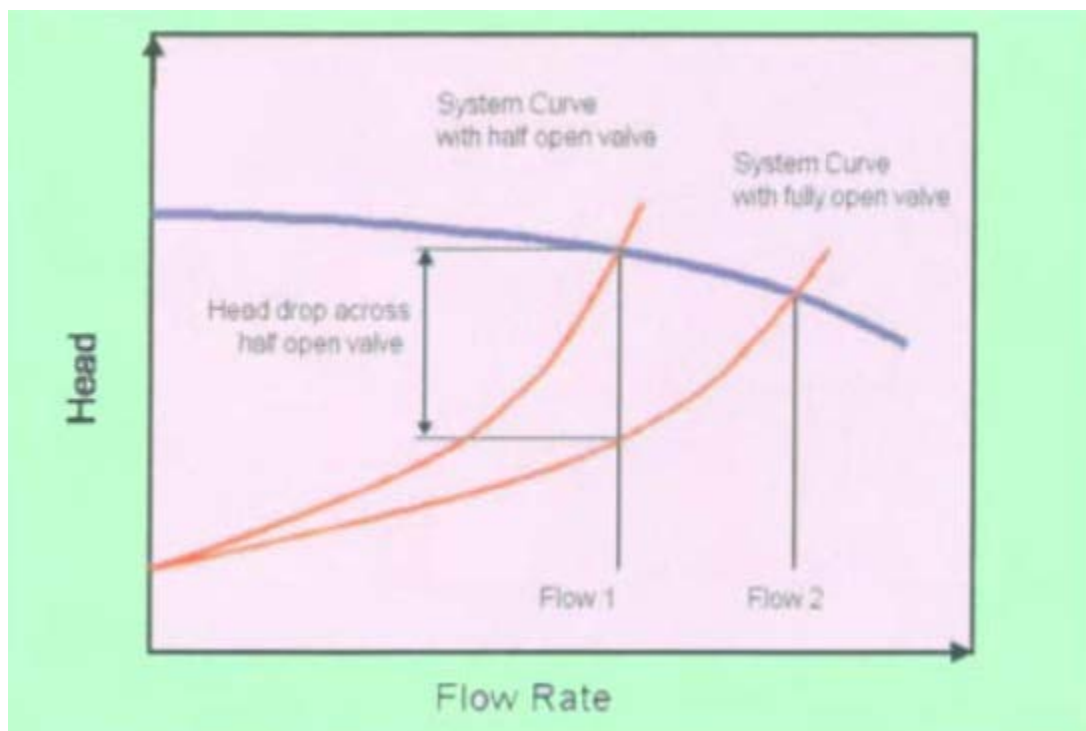
- **Φυγοκεντρικές αντλίες σε συνδεσμολογία σε σειρά**

Σε αυτή την περίπτωση το υψομετρικό είναι αυτό που μεταβάλλεται ανάλογα, και επομένως η πίεση, ενώ η παροχή αυξάνεται κι αυτή με τη σειρά της, όχι όμως με ανάλογο τρόπο, όπως φαίνεται παρακάτω.



Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ελέγχου της ροής μιας αντλίας με την χρήση κάποιου δοχείου αποθήκευσης. Στην περίπτωση αυτή η αντλία δεν εργάζεται συνεχώς, παρά μόνο μέχρι να γεμίσει το δοχείο. Στη συνέχεια η παροχή κρατιέται σταθερή, αφού το δοχείο δεν αδειάζει ποτέ. Μπορεί μάλιστα η αντλία να εργάζεται για να γεμίσει το δοχείο κατά τις ώρες μη αιχμής και να είναι σταματημένη κατά τις ώρες αιχμής που το ρεύμα είναι ακριβότερο.

Σε πολλές περιπτώσεις προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ροή και πίεση κατά περίπτωση, πραγματοποιείται έλεγχος της αντλίας με κάποια βάνια στη κατάθλιψη. Ανοίγοντας ή κλείνοντας κατάλληλα την βάνια, επιτυγχάνεται μετατόπιση της καμπύλης της αντλίας, όπως φαίνεται παρακάτω.



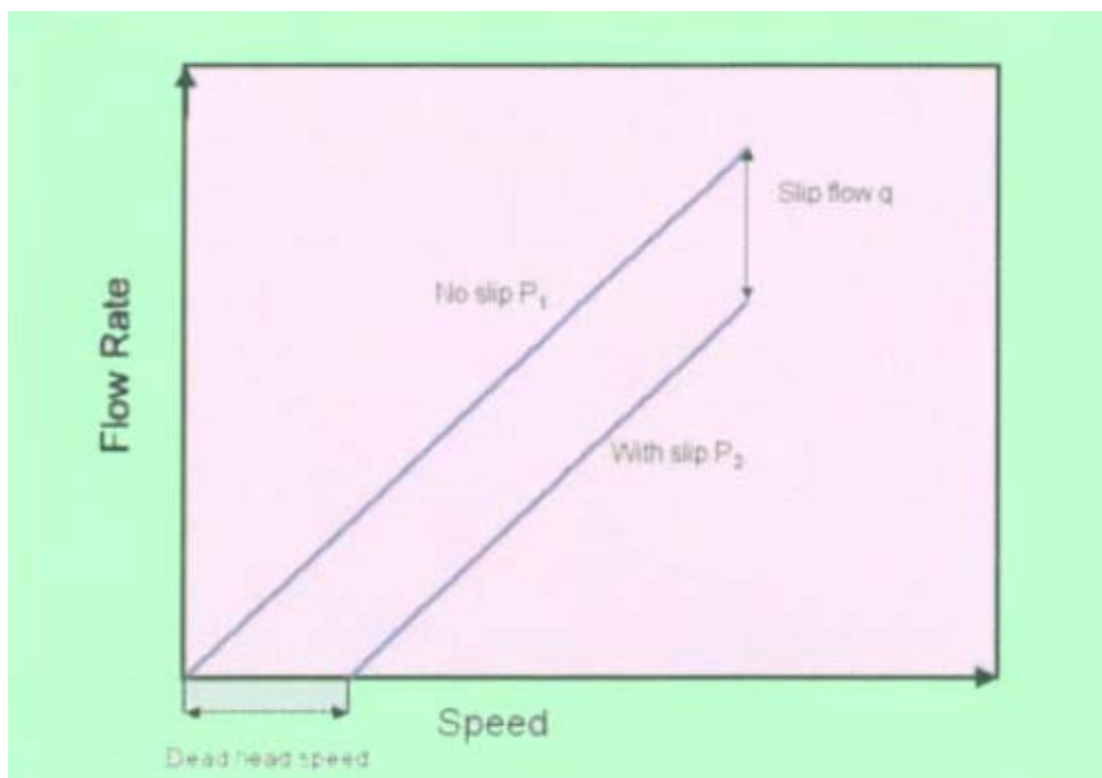
Σε κάθε τέτοια περίπτωση η βάνια πρέπει να παραμένει κλειστή τουλάχιστον 10%, ώστε να υπερνικά τις τριβές των σωληνώσεων και να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ενεργειακή οικονομία. Ωστόσο, ο έλεγχος με βάνια μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές δαπάνες, μιας και το κόστος συντήρησης των βανών έναντι της διάβρωσης μπορεί να είναι μεγάλο.

Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα του By-Pass ελέγχου μιας βάνιας. Σε αυτή την περίπτωση υγρό επιστρέφει από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση της αντλίας με στόχο τη μείωση της παροχής και της πίεσης. Με αυτό τον τρόπο είναι ξεκάθαρο ότι πετιέται ενέργεια, μιας και η αντλία εργάζεται πάντα στο ονομαστικό της φορτίο και στροφές.

- **Αντλίες θετικής μετατόπισης**

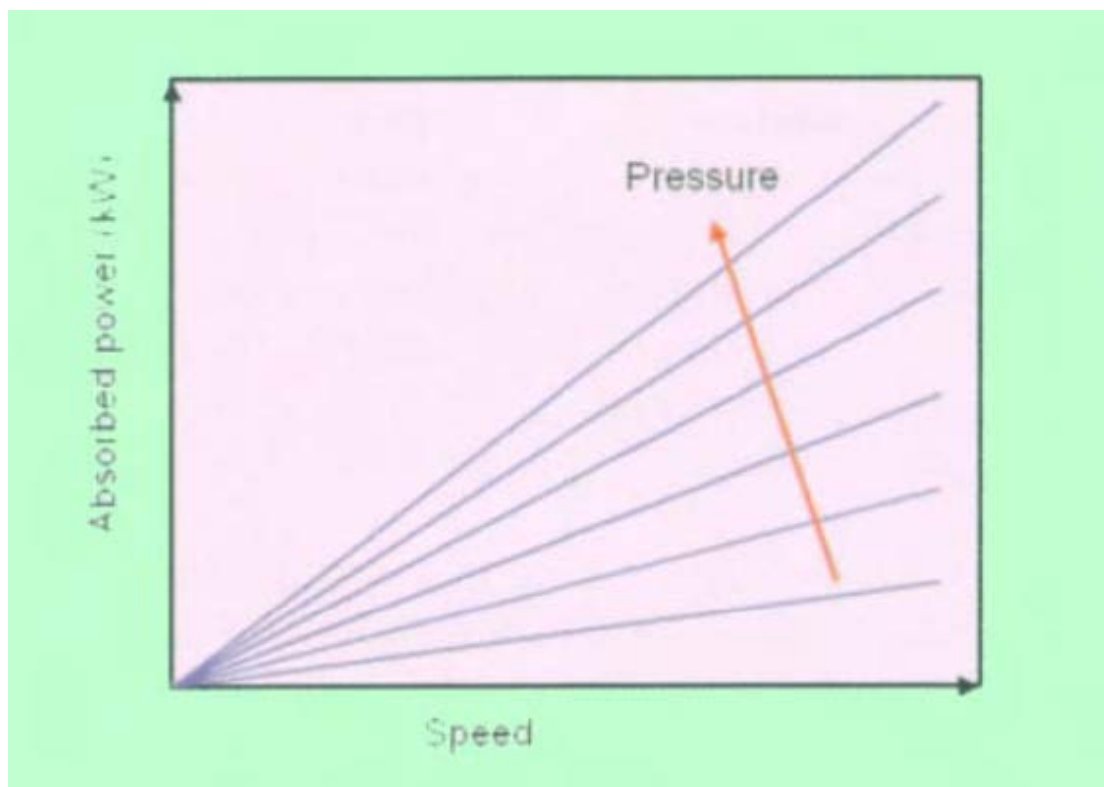
Οι αντλίες θετικής μετατόπισης διαχωρίζονται σε παλινδρομικές και περιστροφικές αντλίες. Οι περιστροφικές αντλίες εργάζονται σε πιέσεις μέχρι 25bar, ενώ οι παλινδρομικές αντλίες εργάζονται σε πιέσεις μέχρι τα 500bar. Και στις δύο αντλίες η ροή είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για να εργάζονται σε μεταβλητές στροφές με την χρήση των μετατροπών συχνότητας. Και στις δύο κατηγορίες αντλιών δεν χρειάζεται να χρησιμοποιούνται ανεπίστροφα.

Στις αντλίες θετικής μετατόπισης, η μείωση της παροχής τους με τη μείωση των στροφών απαιτεί τεράστια προσοχή, μιας και οδηγεί σε αύξηση της πίεσης με ανεπιθύμητα συνήθως αποτελέσματα. Μια μείωση των στροφών της αντλίας σε σταθερή πίεση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παρεχόμενης ποσότητας μέχρι και 20%. Για τον λόγο αυτό και η χρήση βανών στην κατάθλιψη τέτοιων αντλιών για στραγγαλισμό αποφεύγεται, μιας και μπορεί να οδηγήσει σε καταστρεπτικά αποτελέσματα, όπως άλλωστε φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Ως ολίσθηση χαρακτηρίζεται η αύξηση της πίεσης με τη μείωση της παροχής.

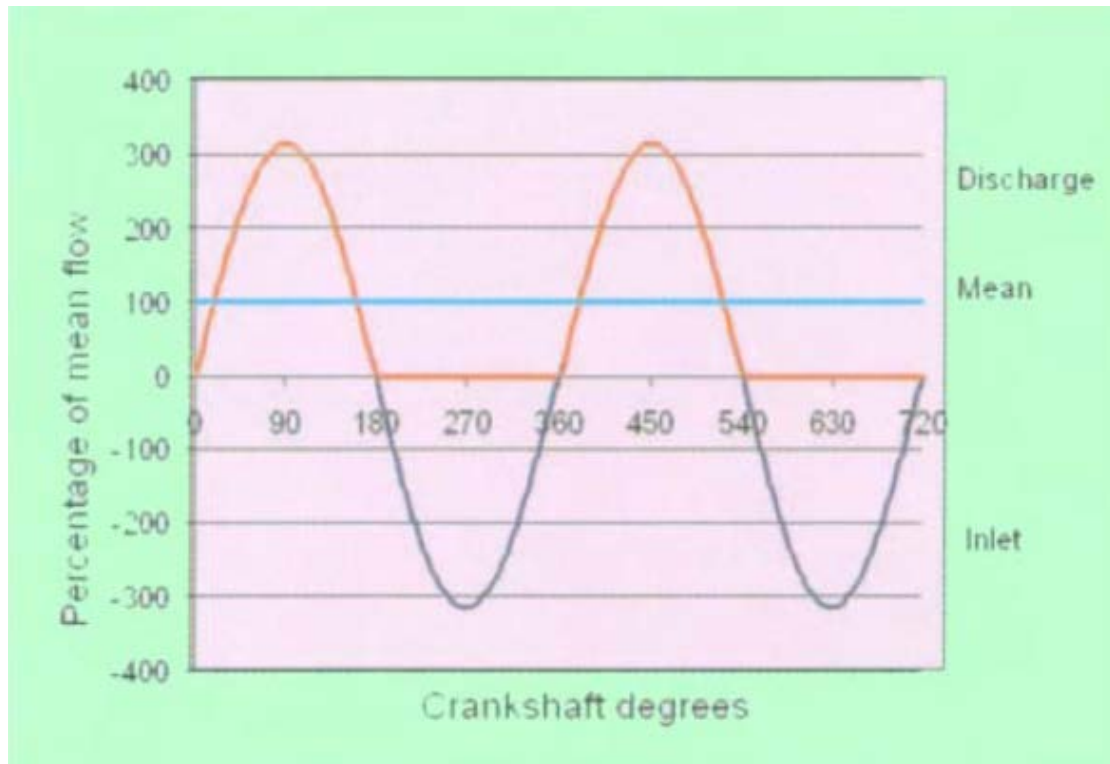


Το φαινόμενο της «σπηλαίωσης» παρατηρείται και σε αυτές τις αντλίες. Το υγρό μέσο που διέρχεται μέσα από αυτές τις αντλίες θα πρέπει να έχει τέτοια πίεση στην είσοδο, ώστε να υπερνικήσει την ταχύτητα του αέρα και να παρεμποδίσει τον σχηματισμό φυσαλίδων.

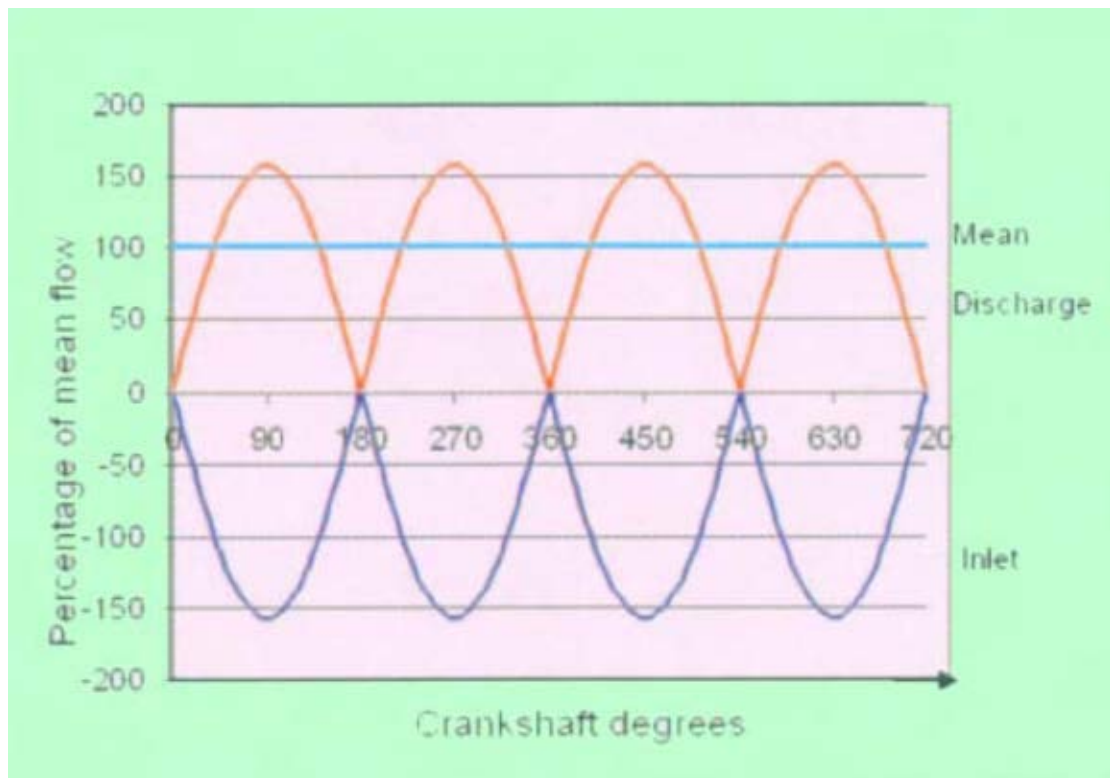
Οι αντλίες θετικής μετατόπισης έχουν την παραγόμενη ροπή ανάλογη της διαφορικής πίεσης και σχετικά σταθερή και όχι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας, όπως συμβαίνει με τις φυγοκεντρικές αντλίες. Η ροπή αδράνειάς τους μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη λόγω των αναπτυσσόμενων τριβών στο εσωτερικό της αντλίας. Παρακάτω εικονίζεται η μεταβολή της απορροφούμενης ενέργειας και τις πίεσης σε σχέση με τις στροφές για δεδομένο ιξώδες του υγρού μέσου. Αν το ιξώδες μεταβληθεί, τότε και η ισχύς θα μεταβληθεί αναλόγως.



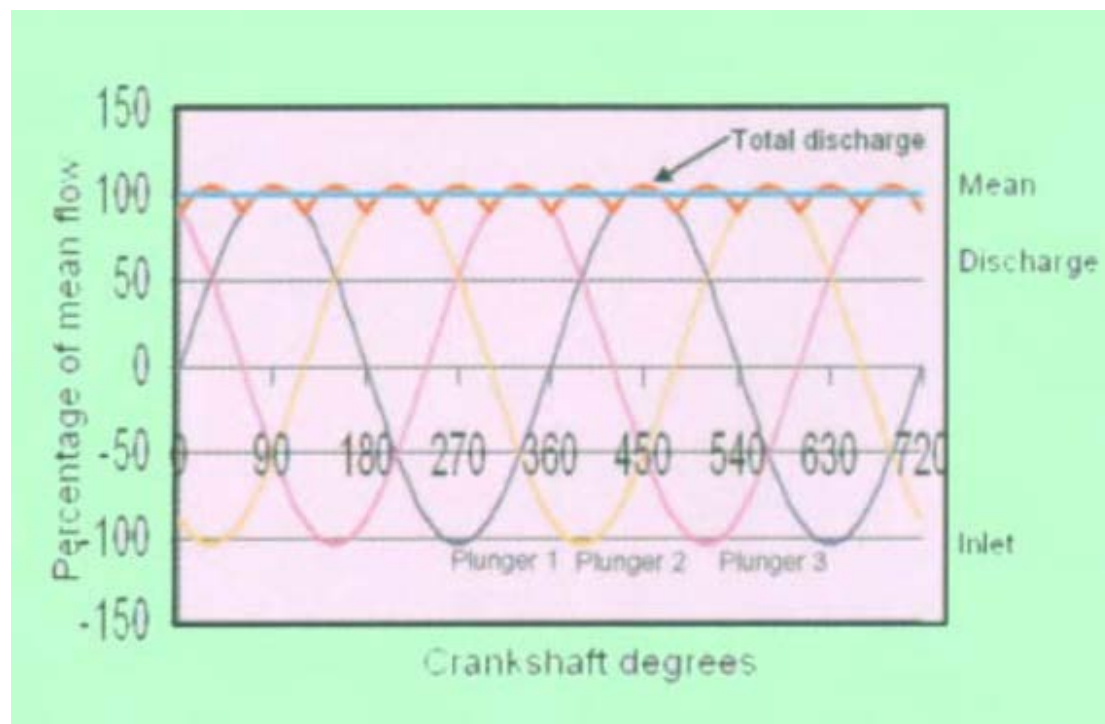
Οι παλινδρομικές αντλίες γενικά είναι πιο σύνθετοι μηχανισμοί από τις φυγοκεντρικές. Περιλαμβάνουν τα έμβολα – πιστόνια –, το διάφραγμα, κλπ. Η λειτουργία τους βασίζεται στην επαναλαμβανόμενη μετατόπιση του υγρού μεταξύ μιας βαλβίδας εισόδου – αναρρόφησης – και μιας βαλβίδας εξόδου – κατάθλιψης. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας κατά την περιστροφή του άξονα της αντλίας. Από τις 0 ως τις 180 μοίρες πραγματοποιείται η μετατόπιση του υγρού, συνεπώς η αντλία παράγει έργο. Από τις 180 ως τις 360 μοίρες του άξονα δεν πραγματοποιείται κάποιο έργο, αλλά γεμίζει με υγρό ο κύλινδρος ή οι κύλινδροι της αντλίας. Κατά την εκτόνωση ο ρυθμός της παροχής μεταβάλλεται ημιτονοειδώς από 0 έως 315% της ονομαστικής τιμής, διατηρώντας τελικά μια μέση τιμή της τάξεως του 100%.



Παραπάνω εικονίζεται αντλία με έναν μόνο κύλινδρο. Στην περίπτωση δύο κυλίνδρων οι διακύμανση μειώνεται στο 157% έναντι 315%, οπότε ο ρυθμός της ροής και συνεπώς η ροπή εξακολουθεί να μεταβάλλεται. Το σχήμα μιας τέτοιας αντλίας εικονίζεται παρακάτω.



Στην περίπτωση τριών κυλίνδρων το πρόβλημα της διακύμανσης βελτιώνεται ακόμα περισσότερο, όπως φαίνεται παρακάτω.

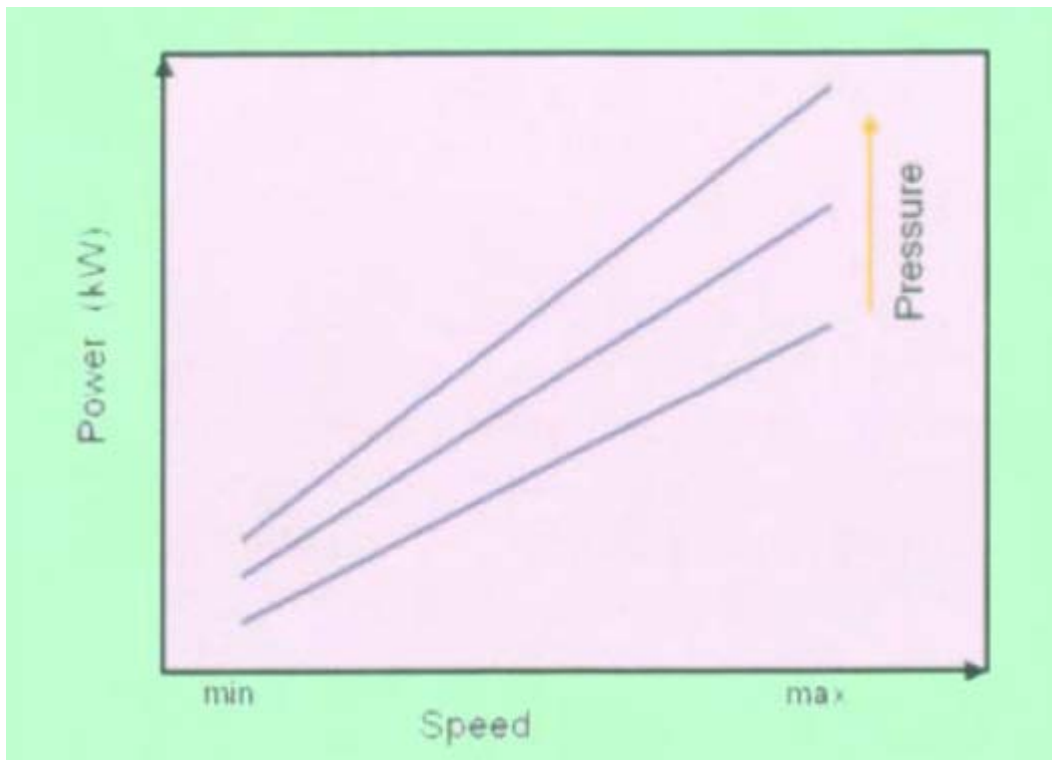
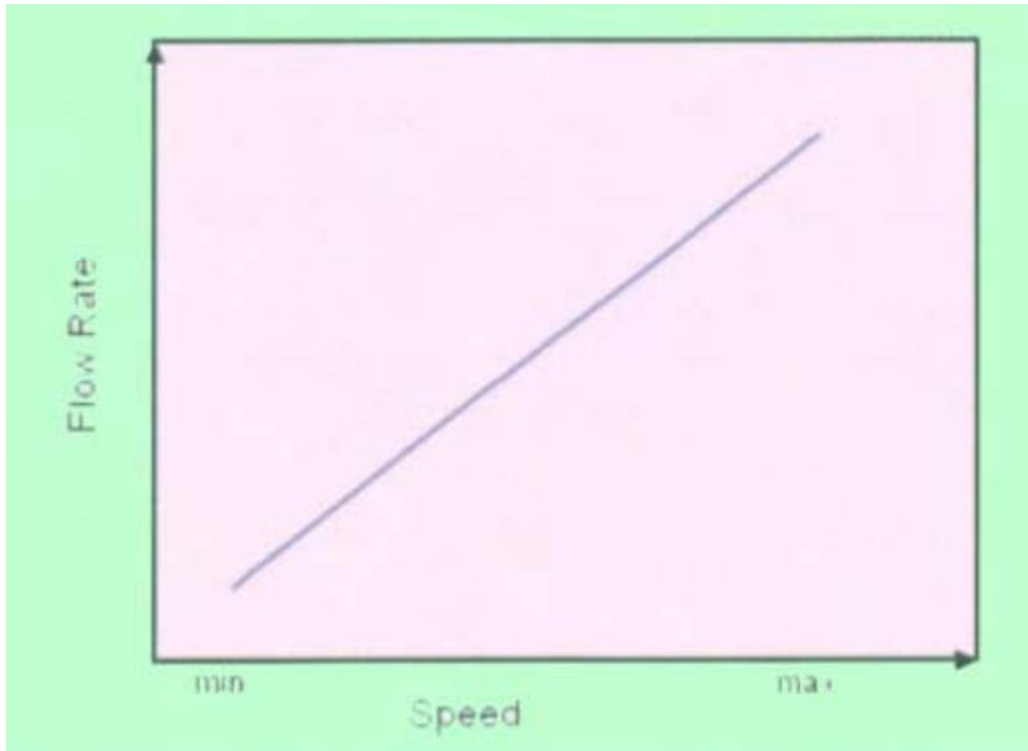


Γενικότερα, όσο περισσότεροι κύλινδροι προστεθούν, το πρόβλημα εξομαλύνεται, αλλά δεν εξαλείφεται. Ωστόσο, το κόστος αυξάνει ανάλογα.

Οι παλινδρομικές αντλίες ανάλογα με την κατασκευή τους διακρίνονται στις εμβολοφόρες, στις διαφραγματοφόρες και στις αντλίες με πιστόνια. Η διαφορά των αντλιών με έμβολα από αυτές με πιστόνια είναι η διαρροή του υγρού μέσου αριστερά και δεξιά του εμβόλου, κατά την κίνηση. Ωστόσο δε μπορούν λόγω της κατασκευής τους (οι αντλίες με πιστόνια) να υπερβούν τα 100bar.

Στις διαφραγματικές αντλίες η παλινδρομική κίνηση γίνεται με την χρήση ενός διαφράγματος – μεμβράνης. Γενικότερα η απόδοση και η πίεση μιας τέτοιας αντλίας είναι προφανώς μικρότερη από τις προηγούμενες.

Η ταχύτητα περιστροφής μιας αντλίας με έμβολα ή πιστόνια είναι ευθέως ανάλογη της ροής της αντλίας. Η πίεση του υγρού είναι κάτι που προκύπτει δευτερευόντως και εξαρτάται από την ποιότητα της κατασκευής, αφού στην ουσία προκύπτει από την υπερνίκηση της αντίστασης του υγρού που μετατοπίζεται. Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα μιας αντλίας, τόσο μεγαλύτερη η παραγόμενη ροή και τόσο μεγαλύτερη η καταναλισκόμενη ενέργεια, γεγονός που φαίνεται από τα παρακάτω σχήματα.



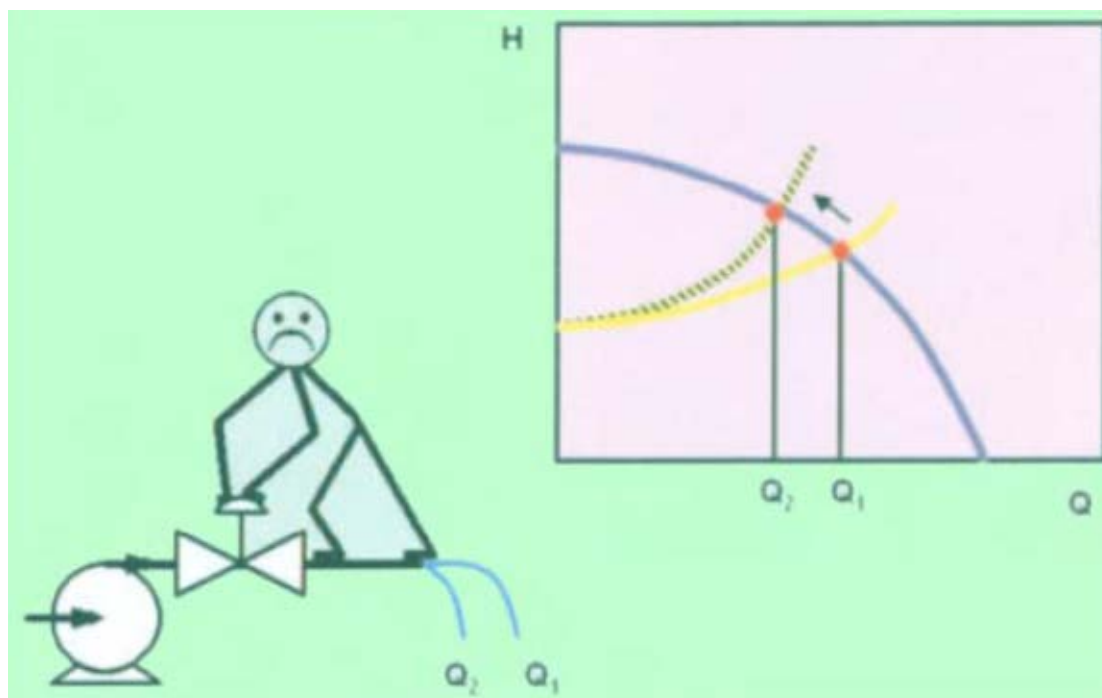
Η συνδεσμολογία στις αντλίες θετικής μετατόπισης σε σειρά μπορεί να αυξήσει αναλόγως την πίεση, ωστόσο η παροχή παραμένει ίδια με αυτή μιας μόνο αντλίας. Σε αντίθεση με αυτό, η συνδεσμολογία αντλιών παράλληλα μπορεί να οδηγήσει σε αντίστοιχο πολλαπλασιασμό της ροής, κρατώντας την πίεση ίδια με αυτή μιας μόνο

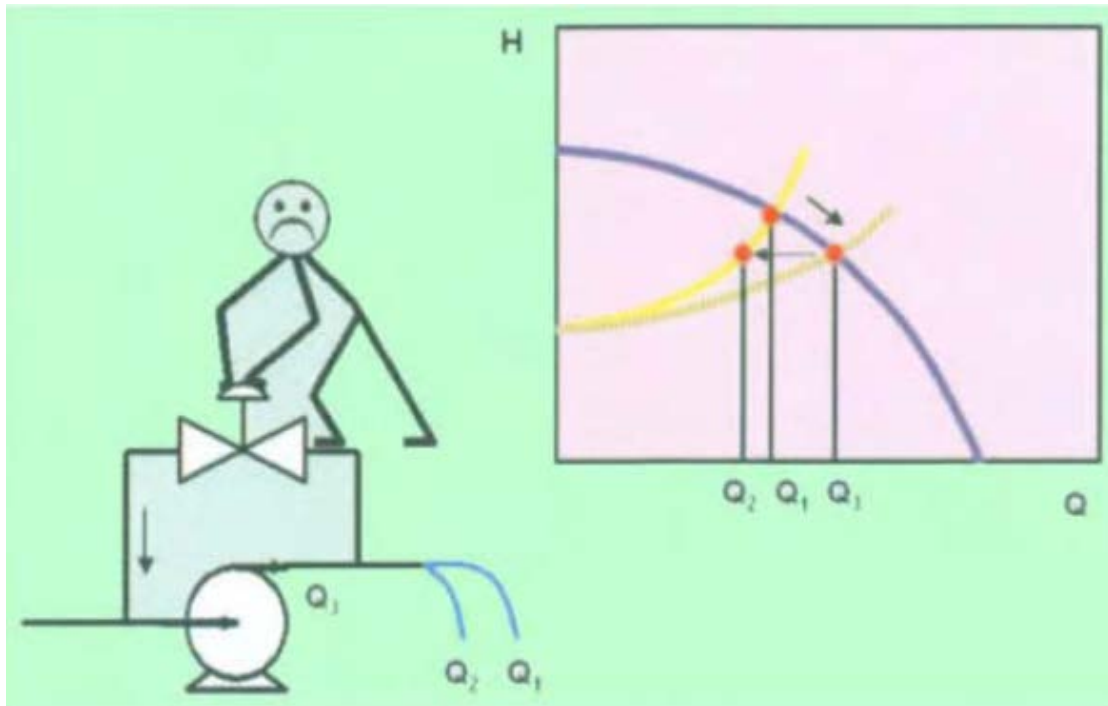
αντλίας. Έλεγχος με βάνες όπως αναφέρθηκε στις φυγοκεντρικές αντλίες καλό είναι να αποφεύγεται, μιας και μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές πιέσεις. Το ίδιο ισχύει και για τον έλεγχο με by-pass, μιας και τα διαφυγόντα κόστη μιας τέτοιας ενέργειας είναι οικονομικά ασύμφορα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

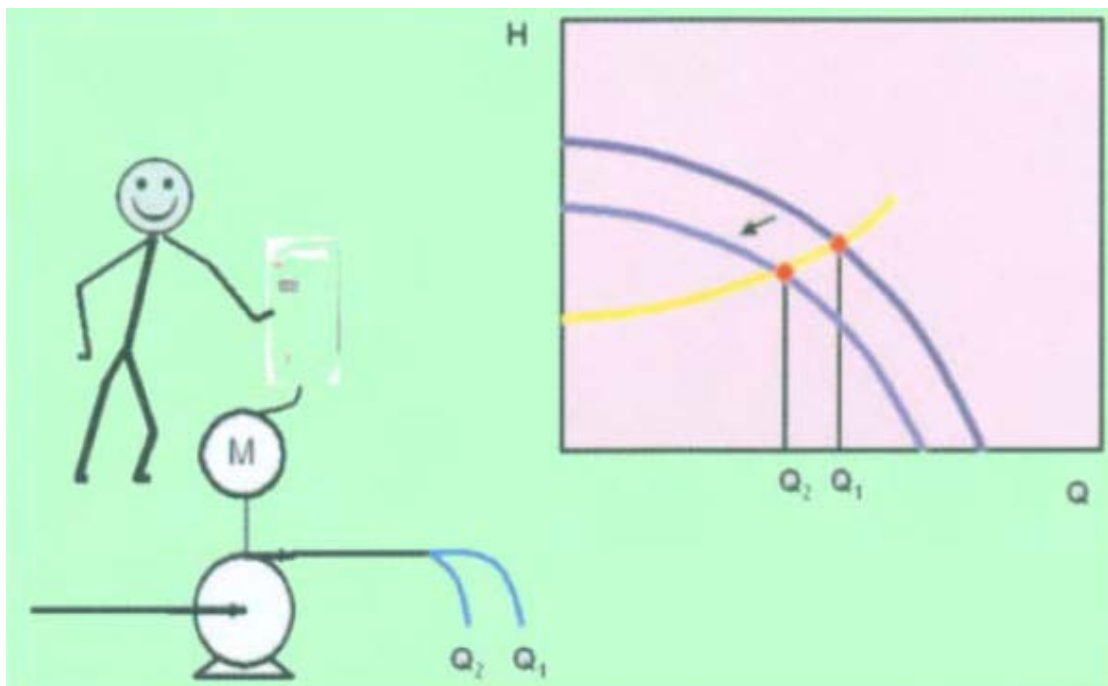
Όταν στόχος μιας εφαρμογής είναι η μείωση της παροχής μιας φυγοκεντρικής αντλίας, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στραγγαλισμός μέσω βανών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί by-pass λειτουργία, ή τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετατροπέας συχνότητας. Κατά το στραγγαλισμό με βάνες ή με την λειτουργία by-pass, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα τα αποτελέσματα είναι τα αναμενόμενα, ωστόσο για μια λειτουργία που απαιτεί ορισμένη ηλεκτρική ενέργεια, δαπανάται πολλές φορές πολλαπλάσια ηλεκτρική ενέργεια χωρίς λόγο, μιας και ο ηλεκτρικός κινητήρας που οδηγεί την αντλία εργάζεται στις ονομαστικές στροφές.





Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις μπορεί να γίνεται και έλεγχος των αντλιών με σταματήματα και ξεκινήματα, αν υπάρχουν δεξαμενές αποθήκευσης που γεμίζουν και αδειάζουν.

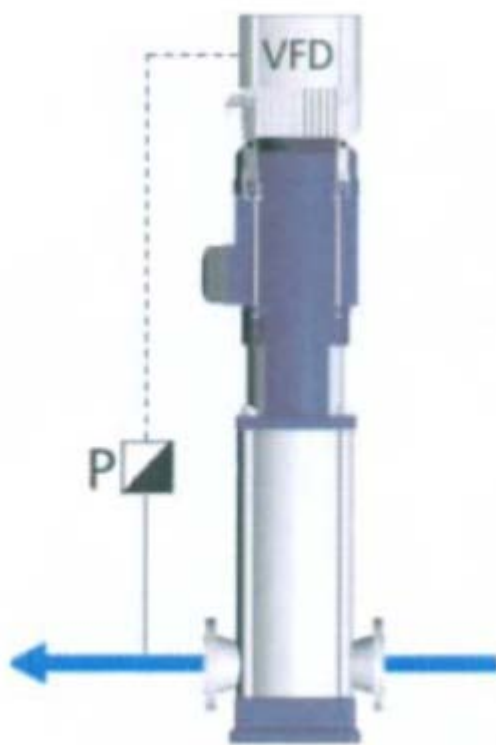
Στις περιπτώσεις όμως που απαιτείται έλεγχος της πίεσης ή παροχής του συστήματος ώστε αυτή να κρατιέται σταθερή, τότε ο ενδεδειγμένος τρόπος ελέγχου είναι ο μετατροπέας συχνότητας όπως φαίνεται παρακάτω.



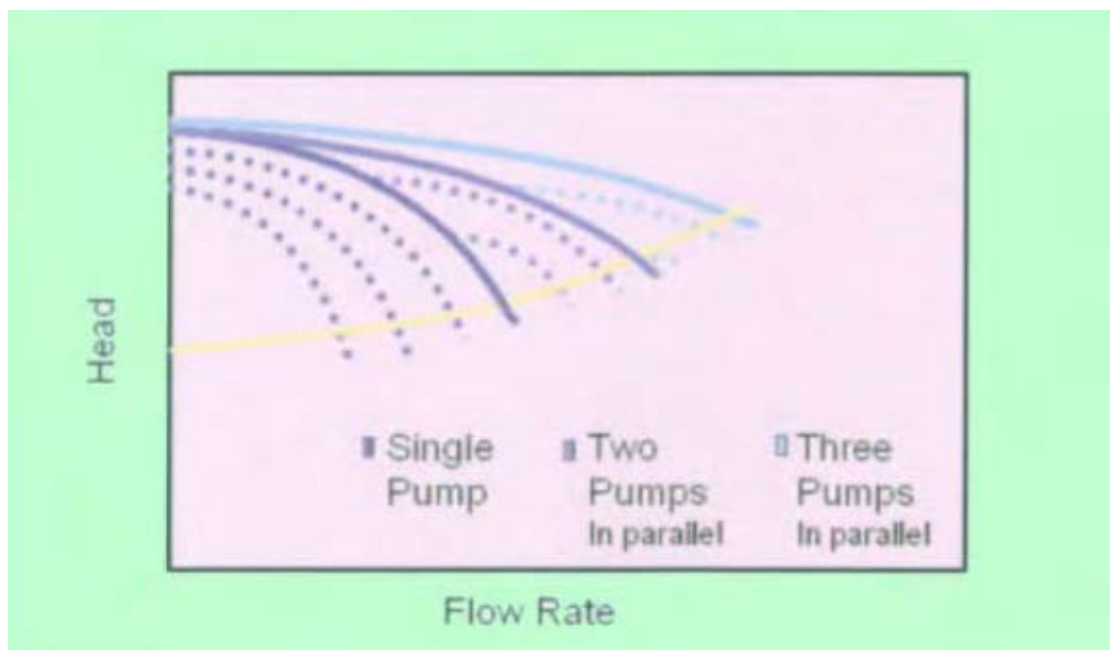
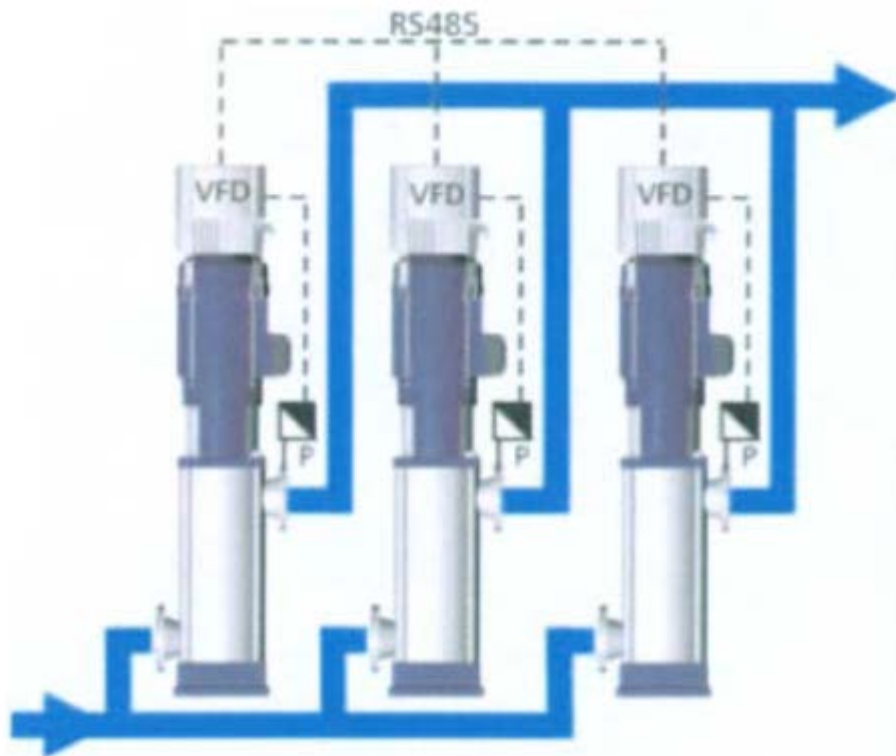
Με τον μετατροπέα συχνότητας αποφεύγεται η χρήση περιπτώων διατάξεων όπως είναι οι βάνες και το σύστημα καταπονείται λιγότερο σε κάθε εκκίνηση του, μιας και με τον μετατροπέα συχνότητας η κατάληξη στις επιθυμητές στροφές πραγματοποιείται με τον ομαλότερο δυνατό τρόπο.

- **Έλεγχος υπό σταθερή πίεση**

Στην περίπτωση αυτή απαιτείται από το σύστημα σταθερή πίεση στην έξοδο – κατάθλιψη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος μετατροπέας που μετρά την πίεση εξόδου και στέλνει σήμα στην αντλία, η οποία με τη σειρά της μεταβάλλοντας τις στροφές της μεταβάλλει την παροχή στην έξοδο. Μια τέτοια αντλία με ενσωματωμένο το μετατροπέα συχνότητας, φαίνεται παρακάτω.

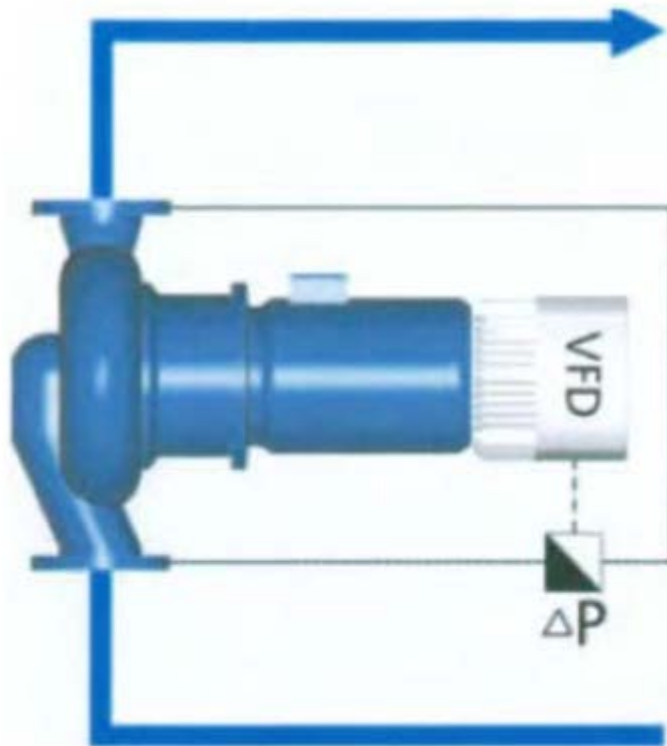
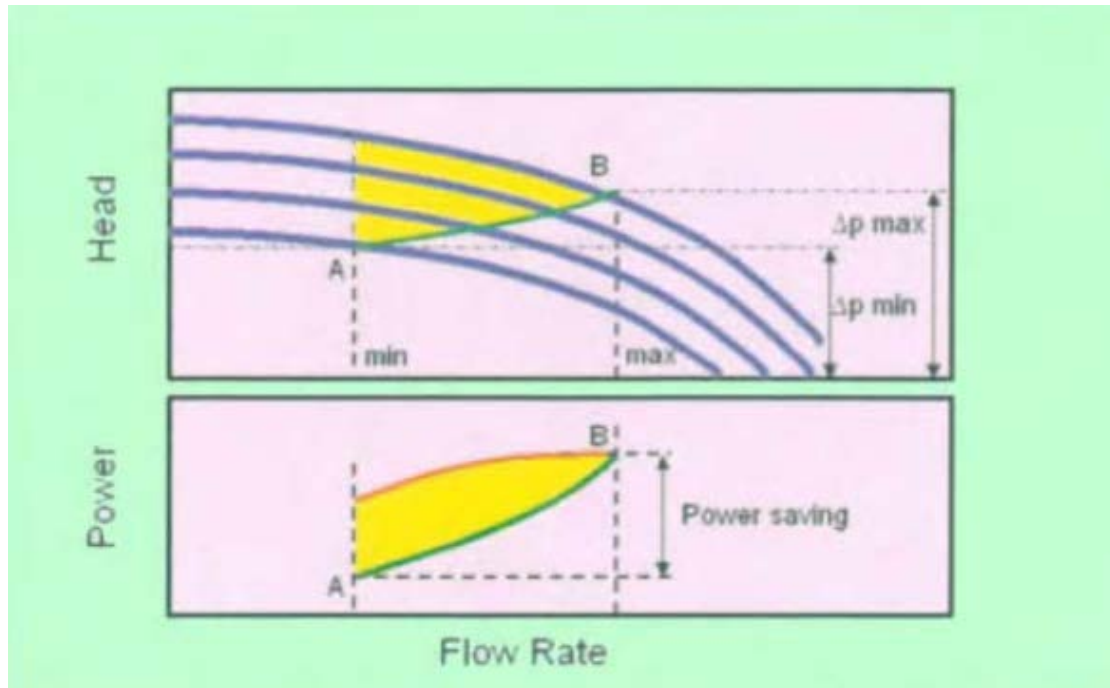


Αντί για μια αντλία, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλές αντλίες παράλληλα, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται επιλεκτική και κυκλική λειτουργία των αντλιών, ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας τους και τον αριθμό που απαιτείται. Στην περίπτωση όμως που οι απαιτήσεις του συστήματος σε υγρό μηδενίζονται, θα πρέπει οι αντλίες να σταματούν αμέσως την λειτουργία τους, μιας και η εν κενώ λειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή των αντλιών.



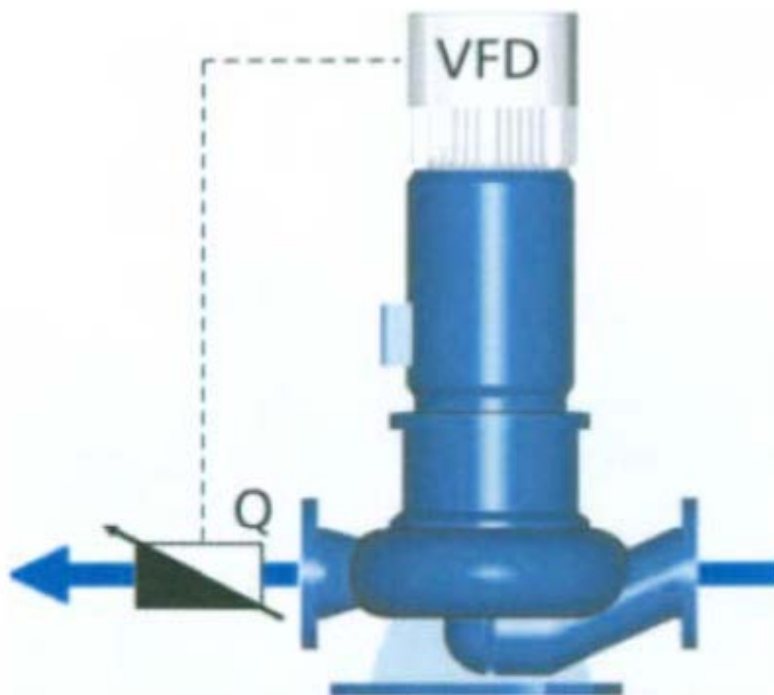
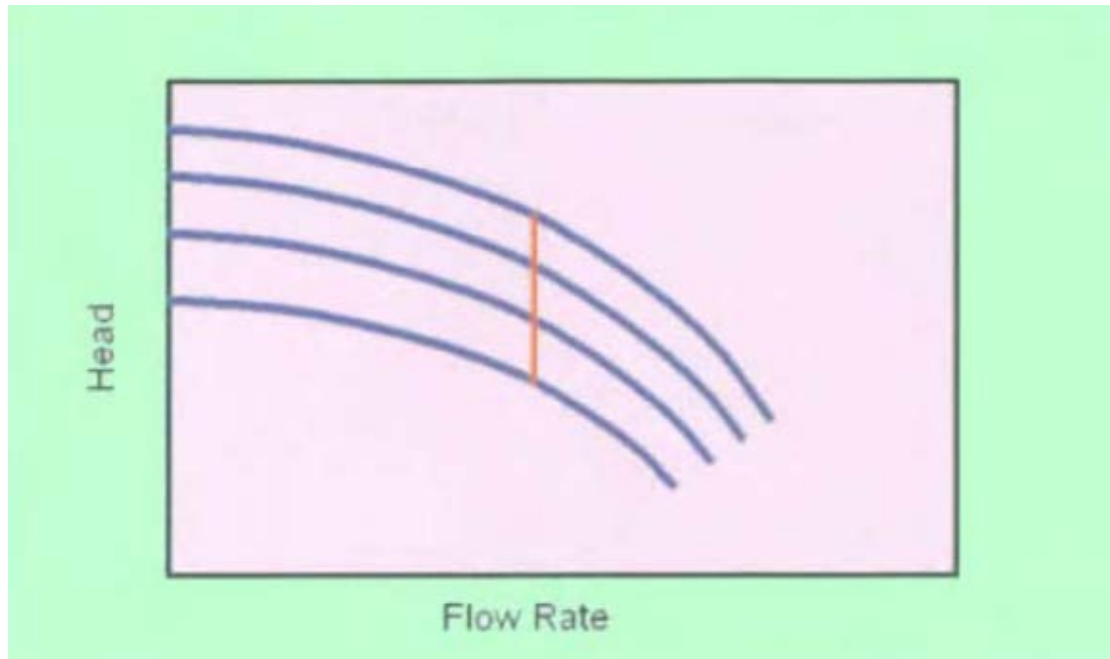
Σε πολλές περιπτώσεις ελέγχεται η λειτουργία μιας αντλίας, ανάλογα με την διαφορική πίεση μεταξύ της αναρρόφησης και της κατάθλιψης όπως φαίνεται παρακάτω. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε κλειστά κυκλώματα, όπου η αντλία θα πρέπει να λειτουργήσει με βάση μια ορισμένη καμπύλη λειτουργίας, όπως φαίνεται παρακάτω. Αυτό γίνεται ώστε να υπερνικήσει τις τριβές του συστήματος των σωληνώσεων. Σε προηγμένους μάλιστα μετατροπείς συχνότητας δεν απαιτείται η χρήση άλλων οργάνων, όπως τα παροχόμετρα και οι ελεγκτές. Στην περίπτωση

μάλιστα χαμηλών στροφών, οι απώλειες λόγω τριβών μειώνονται και το κέρδος από την καταναλισκόμενη ενέργεια μπορεί να φτάσει και το 70%.



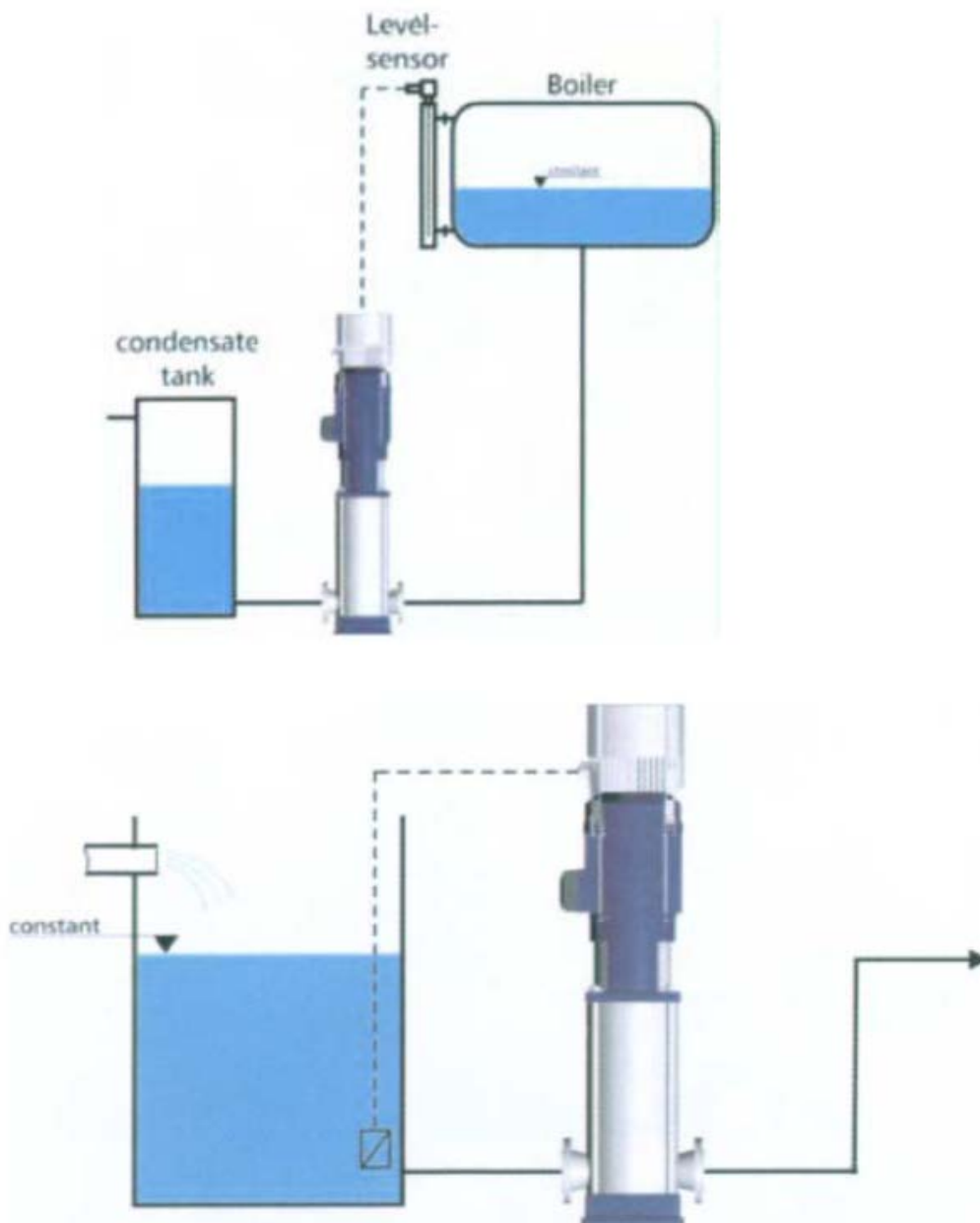
- Έλεγχος υπό σταθερή παροχή

Σε πολλές περιπτώσεις συστημάτων ψύξης ή ψεκασμού, αυτό που απαιτεί το σύστημα είναι η σταθερή ροή, ακόμα και αν η πίεση μεταβάλλεται. Το ίδιο συμβαίνει και όταν υπάρχει ένα αποθηκευτικό μέσο, συνήθως δεξαμενή. Με την χρήση ενός παροχόμετρου στην κατάθλιψη της αντλίας, το σήμα μεταφέρεται στον μετατροπέα, ο οποίος αναλαμβάνει να κρατήσει σταθερή την ροή, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



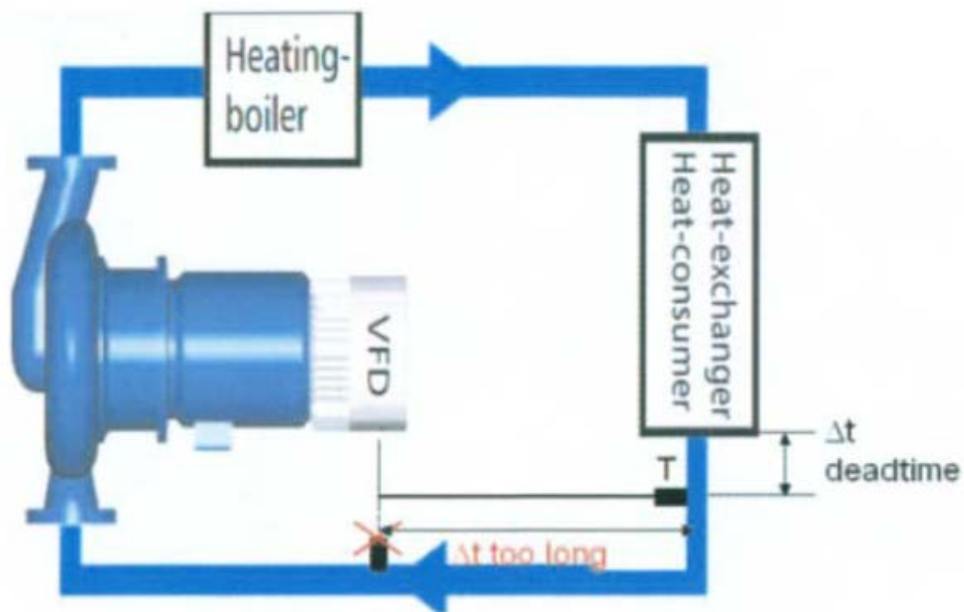
- Έλεγχος με σταθερή στάθμη

Σε πολλές περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται δοχεία που γεμίζουν ή αδειάζουν από αντλίες, αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι το επίπεδο στο εσωτερικό του δοχείου να κρατιέται κατά το δυνατό σταθερό, ώστε να αποφεύγονται παφλασμοί και κυματισμοί που μπορεί να οδηγήσουν στην καταπόνηση του δοχείου. Τέτοιο μπορεί να είναι το δοχείο ενός λέβητα – boiler, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η ταχύτητα της αντλίας και συνεπώς η ροή ελέγχονται, ώστε όσο μικρότερη η απόσταση από το επιθυμητό επίπεδο, τόσο χαμηλότερη η ταχύτητα της αντλίας. Κάτι τέτοιο θα ήταν ανέφικτο με την διακοπτική λειτουργία μιας αντλίας, αν και θα οδηγούσε και στην επιπλέον καταπόνησή της.



- Έλεγχος υπό σταθερή θερμοκρασία

Σε πολλές περιπτώσεις το μεταφερόμενο υγρό αποτελεί μέσο ψύξης, οπότε η παροχή μιας ή περισσοτέρων φυγοκεντρικών αντλιών ρυθμίζεται με βάση την επιδιωκόμενη θερμοκρασία. Όταν αυτή αποκλίνει από την επιθυμητή τιμή, η παροχή της αντλίας αυξάνεται, ενώ όταν αυτή συγκλίνει, ή παροχή και άρα η ταχύτητα της αντλίας μειώνεται. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με τον ομαλότερο δυνατό τρόπο με την χρήση ενός μετατροπέα συχνότητας, γεγονός εξαιρετικά δύσκολο με τον διακοπτικό έλεγχο αντλιών. Η εφαρμογή εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

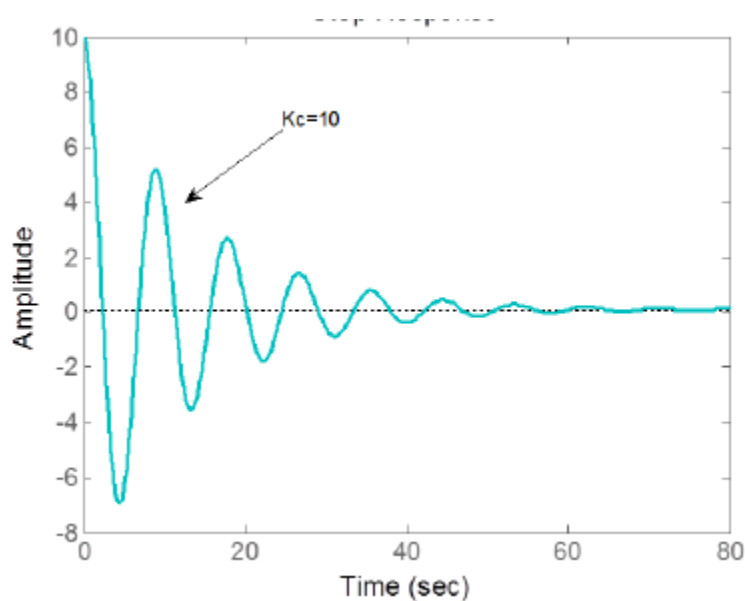


Τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούσαν φυγοκεντρικές αντλίες. Στις αντλίες θετικής μετατόπισης οι μέθοδοι ελέγχου είναι λίγο πολύ ίδιες, αν και η απευθείας σχέση της ταχύτητας με την ροή τις καθιστά πιο δόκιμες σε περιπτώσεις ελέγχου ροής. Ιδιαίτερη προσοχή όμως θα πρέπει να δοθεί στην επιλογή του κινητήρα και του μετατροπέα συχνότητας, μιας και αυτές οι αντλίες έχουν μεγάλη ροπή αδράνειας και μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή του εξοπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

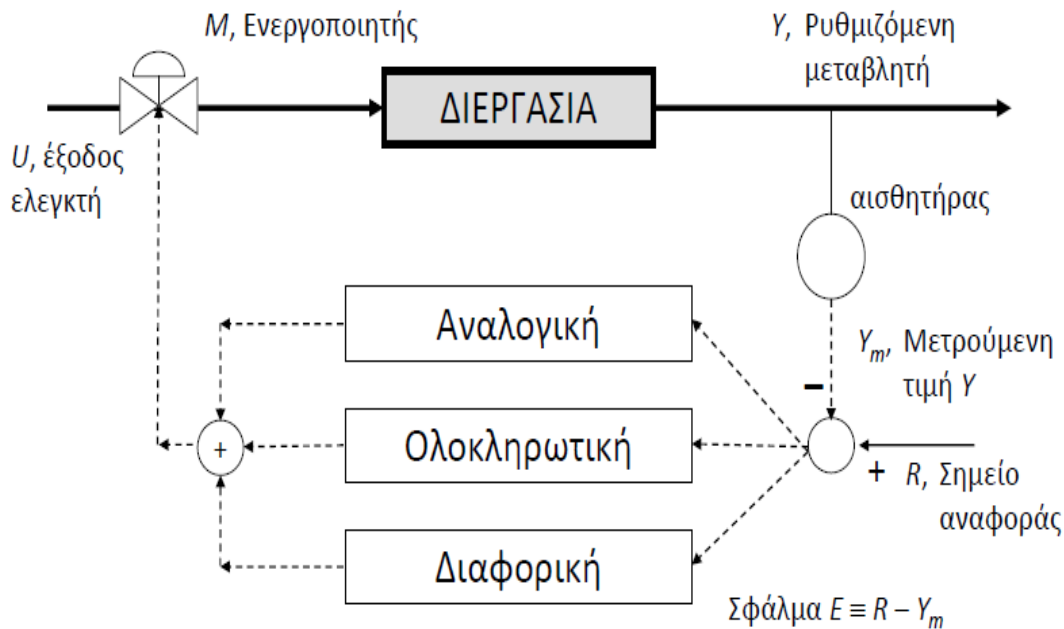
PID ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Σε πολλές από τις παραπάνω εφαρμογές υπάρχει ένα σημείο αναφοράς, π.χ. πίεση, θερμοκρασία, παροχή και ο μετατροπέας συχνότητας καλείται να μεταβάλλει τις στροφές του ηλεκτρικού κινητήρα προκειμένου να φτάσει αυτό το σημείο αναφοράς. Από τη στιγμή που η μετρούμενη τιμή με τον χρησιμοποιούμενο σένσορα αποκλίνει από την τιμή αναφοράς, το σύστημα βρίσκεται σε μία αστάθεια. Προκειμένου να εξαιρεθεί αυτή η αστάθεια, το σύστημα καλείται όχι απλά να φτάσει την τιμή αυτή, αλλά να εξακολουθεί να λειτουργεί οσοδήποτε κοντά στην τιμή αυτή. Ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα καλείται να φτάσει την τιμή αναφοράς ρυθμίζεται από PID ελεγκτές που διαθέτουν οι μετατροπείς συχνότητας και που ο χρήστης καλείται να παραμετροποιήσει. Πρωτίστως όμως θα πρέπει να εξηγηθεί τι είναι ένας τέτοιος ελεγκτής.

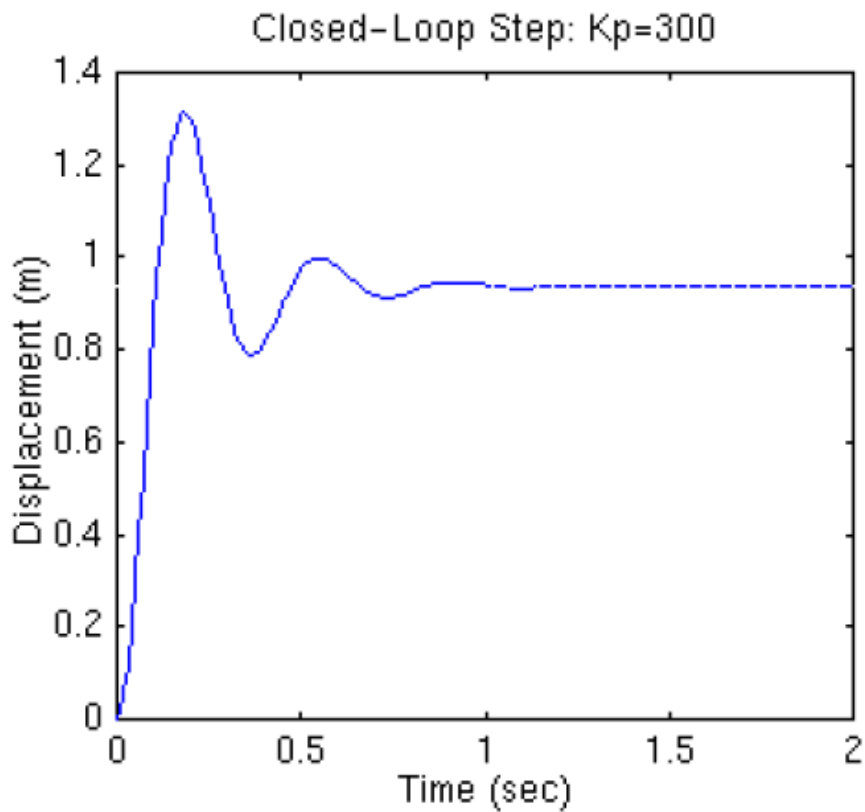


Στο παραπάνω σχήμα ας υποθέσουμε ότι το πλάτος ενός μεγέθους π.χ. θερμοκρασία βρίσκεται στο +10 και η τιμή αναφοράς ορίζεται να είναι το 0. Ο μετατροπέας συχνότητας αποφασίζει να μειώσει την ταχύτητα της αντλίας, ώστε να περιοριστεί η κυκλοφορία ζεστού νερού και η θερμοκρασία του συστήματος να αρχίσει να πέφτει. Με την κίνηση αυτή όμως και λόγω της αδράνειας του συστήματος, η θερμοκρασία ξεπερνά την επιθυμητή τιμή και μειώνεται στους -6 βαθμούς. Ο μετατροπέας διαβάζει τη νέα απόκλιση και αυξάνει τις στροφές με τέτοιο τρόπο, ώστε μετά από διαδοχικές μεταβολές η θερμοκρασία να ισορροπήσει στους 0

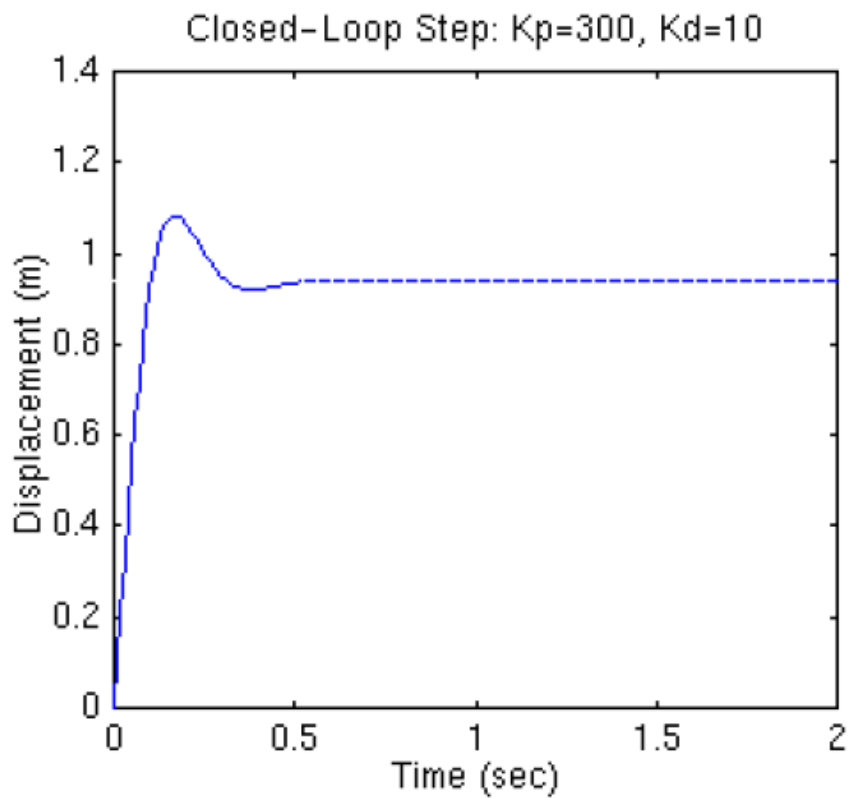
βαθμούς, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο τρόπος με τον οποίο αντιδρά ο μετατροπέας κάθε φορά καθορίζεται από τις τιμές που έχει ο PID ελεγκτής που χρησιμοποιείται.



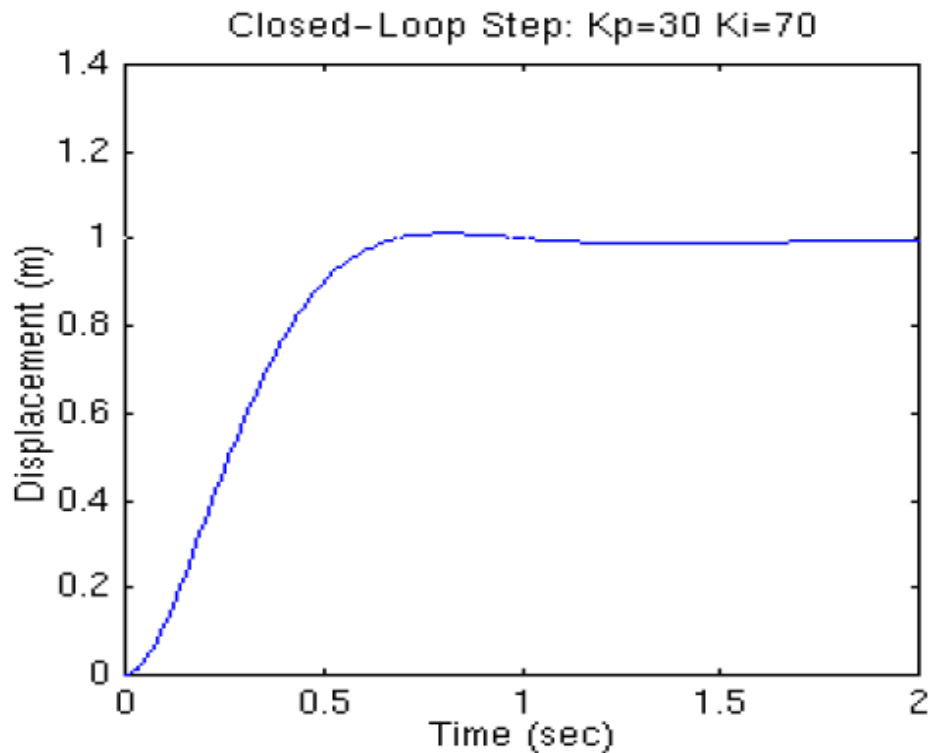
Η λειτουργία ενός ελεγκτή περιγράφεται εν συντομία στο παραπάνω σχήμα. Έστω για παράδειγμα μια διεργασία που μπορεί να είναι η θερμοκρασία ενός εναλλάκτη. Η ρυθμιζόμενη μεταβλητή είναι η θερμοκρασία του εναλλάκτη και για τον λόγο αυτό υπάρχει μία μετρούμενη θερμοκρασία και ένα σημείο αναφοράς θερμοκρασίας, που είναι και το επιθυμητό επίπεδο. Ο ελεγκτής αποτελείται από τρία μέρη, το αναλογικό – proportional -, το ολοκληρωτικό – integral - και το διαφορικό – differential, εξού και PID ελεγκτής. Το κάθε ένα από τα τρία μέρη έχει ένα συντελεστή, K_p, K_i, K_d αντίστοιχα. Ένας μετατροπέας συχνότητας παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να μεταβάλλει τους τρεις αυτούς συντελεστές κατά το δοκούν, μεταβάλλοντας τον τρόπο προσέγγισης της επιθυμητής τιμής. Έτσι για μια τιμή $K_p=300$, δίχως αναλογικό και διαφορικό μέρος, η σχηματική αναπαράσταση της προσέγγισης παίρνει τη μορφή που φαίνεται παρακάτω. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι το σύστημα εκτελεί μια μικρή ταλάντωση προτού να σταθεροποιηθεί στην επιθυμητή τιμή. Για την εξάλειψη μιας τέτοιας ταλάντωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δύο άλλοι παράγοντες, ο αναλογικός και ο διαφορικός.



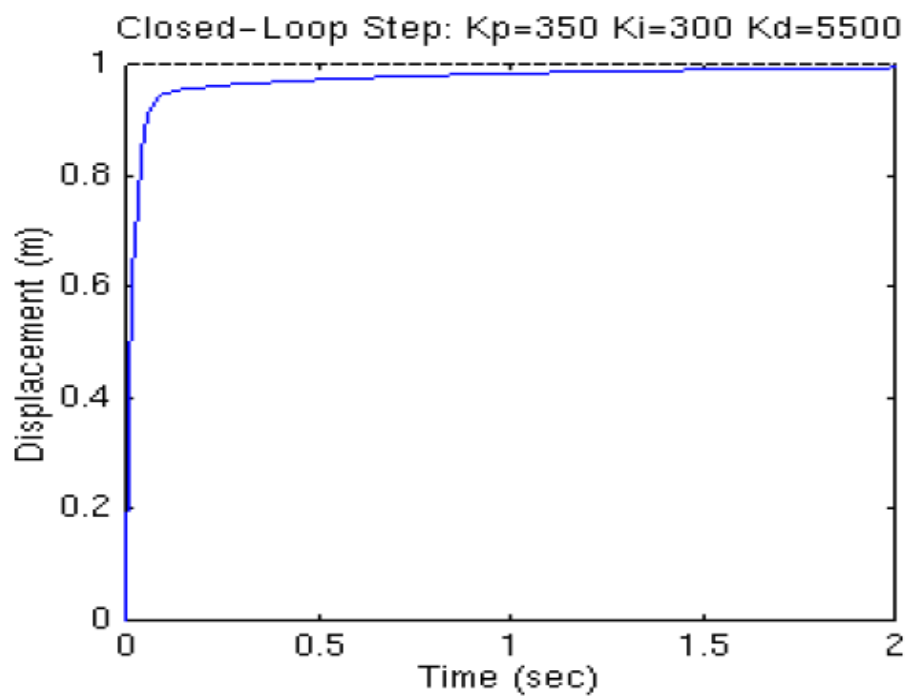
Έτσι στην περίπτωση ενός αναλογικού - διαφορικού ελέγχου η καμπύλη παίρνει τη μορφή που φαίνεται παρακάτω



ενώ στην περίπτωση αναλογικού – ολοκληρωτικού ελέγχου, η καμπύλη παίρνει τη μορφή



για να καταλήξει τελικά στην παρακάτω μορφή με την χρήση και των τριών παραγόντων – αναλογικού, ολοκληρωτικού και διαφορικού.



Παρατηρείται ότι στην τελευταία περίπτωση ο τρόπος προσέγγισης είναι ο ομαλότερος και συντομότερος δυνατός.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων η επιλογή των συντελεστών του ελεγκτή απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα και πολλές δοκιμές. Δοκιμάζεται ένα σετ τιμών και στη συνέχεια με διαδοχικές δοκιμές και μεταβολές βρίσκεται το ιδανικό σετ τιμών για το εκάστοτε σύστημα. Τελικός στόχος είναι πάντοτε η ισορροπία του συστήματος μετά την προσέγγιση κατά το βέλτιστο της τιμής αναφοράς. Μεγάλη προσοχή απαιτείται στην επιλογή των τιμών διότι το σύστημα μπορεί να πέσει σε ταλάντωση γύρω από την τιμή αναφοράς, χωρίς να καταφέρει να την προσεγγίσει τελικά. Οι PID ελεγκτές εφαρμόζονται κατά κόρον στην βιομηχανία και ο τρόπος με τον οποίο προσαρμόζονται πλέον στους μετατροπείς συχνότητας είναι με την χρήση ψηφιακών μικροηλεκτρονικών σαν μέρος των παραμέτρων του κυρίως επεξεργαστή της διάταξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Με την χρήση μετατροπένων συχνότητας σε φυγοκεντρικές αντλίες, η πράξη έχει δείξει ότι αποκομίζονται σημαντικά οικονομικά οφέλη που στις περισσότερες περιπτώσεις αγγίζουν το 30-50%, στις δε περιπτώσεις που οι αρχές λειτουργίας εφαρμόζονται με προσοχή, τα οικονομικά οφέλη μπορούν να φτάσουν και το 90%. Στις αντλίες θετικής μετατόπισης όπου η προσφερόμενη παροχή υγρού είναι ανάλογη της καταναλισκόμενης ενέργειας, τα οικονομικά οφέλη ποσοτικοποιούνται ακόμα πιο εύκολα.

Με την χρήση των μετατροπένων συχνότητας, μικροδιαφορές στην πίεση και ροή διορθώνονται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, δίχως να γίνονται καν αντιληπτές από το ίδιο το σύστημα, γεγονός πολύ δύσκολο και πολλές φορές αδύνατο χωρίς την χρήση των μετατροπένων.

Η χρήση μετατροπένων συχνότητας συμβάλλει και στη μείωση του κόστους συντήρησης του εξοπλισμού και στην αύξηση του χρόνου ζωής του, αφού η λειτουργία σε χαμηλότερες στροφές έχει επιπτώσεις στα ρουλεμάν, στα κουζινέτα και στα mechanical seals και μάλιστα όπως αναφέρθηκε ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού αυτού εξαρτάται από την έβδομη δύναμη των στροφών, γεγονός που σημαίνει ότι η χρήση των μετατροπένων συχνότητας αυξάνει και την αξιοπιστία του συστήματος.

Άλλα σημαντικά οφέλη της χρήσης των μετατροπένων επιγραμματικά, είναι:

- ✓ Τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρονικά ισχύος δίδονται με έναν χρόνο ζωής που υπερβαίνει τα 20 χρόνια λειτουργίας.
- ✓ Η αναβάθμιση του εξοπλισμού είναι πολύ εύκολη.
- ✓ Οι μετατροπείς συχνότητας, λόγω των πυκνωτών αντιστάθμισης που περιέχουν, βελτιώνουν κατά πολύ το συνημίτονο λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου κινητήρα, διευκολύνοντας το δίκτυο.
- ✓ Μπορούν σε περίπτωση βλάβης να παρακαμφθούν πολύ εύκολα και να λειτουργήσει απευθείας ο κινητήρας.
- ✓ Οι περισσότεροι μετατροπείς συχνότητας δεν απαιτούν καν την χρήση κάποιου σένσορα για την ταχύτητα, μιας και υπολογίζουν την ταχύτητα περιστροφής έμμεσα, με την χρήση του μαθηματικού μοντέλου.

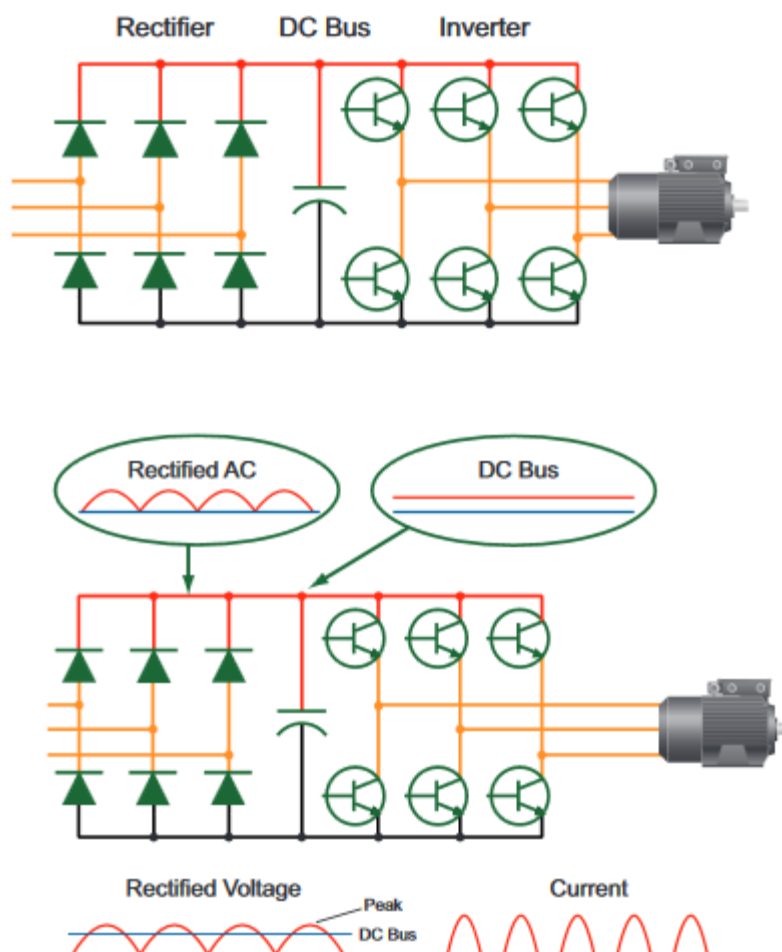
-
- ✓ Κατά την εκκίνηση του συστήματος δεν υπάρχει καθόλου στρες του εξοπλισμού, μιας και το κάθε ξεκίνημα και σταμάτημα γίνεται πάντοτε με ομαλό τρόπο, χωρίς να απορροφάται τεράστια ποσότητα ρεύματος από το δίκτυο διανομής.
 - ✓ Με την χρήση προηγμένων διατάξεων, ο μετατροπέας προστατεύει τόσο τον κινητήρα, όσο και την αντλία από μεταβατικά φαινόμενα και σφάλματα, προλαμβάνει ανωμαλίες στην λειτουργία και πληροφορεί με σαφήνεια μέσω διαγνωστικών για την κατάσταση του συστήματος, καθώς και την δική του.
 - ✓ Είναι εφοδιασμένος με PID ελεγκτές για βέλτιστο έλεγχο.
 - ✓ Είναι εφοδιασμένος με σειριακά πρωτόκολλα επικοινωνίας για επικοινωνία με τον χρήστη, ή άλλους μετατροπείς συχνότητας.
 - ✓ Οι μετατροπείς συχνότητας στην Ευρώπη μπορούν να τροφοδοτήσουν οποιονδήποτε κινητήρα χαμηλής τάσης, αφού τα επίπεδα είναι ίδια για όλες τις χώρες, στα 400V.

Αν και τα οφέλη είναι πολλά και σημαντικά, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά την χρήση μετατροπέων για την αποφυγή φαινομένων συντονισμού. Φαινόμενα συντονισμού μπορεί να παρατηρηθούν σε καταστάσεις υψηλών κραδασμών με καταστροφικές συνέπειες για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Σε πολλούς μάλιστα μετατροπείς υπάρχουν συχνότητες λειτουργίας που ο ίδιος ο μετατροπέας αποφεύγει να ακολουθήσει και τις παρακάμπτει κατά την ράμπα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης, λόγω των διατάξεων προστασίας που περιέχει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

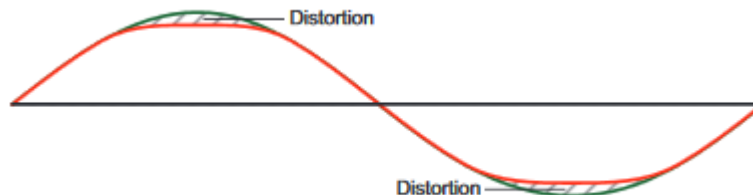
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ

Το πρώτο στάδιο ενός μετατροπέα συχνότητας που είναι ο ανορθωτής – rectifier, μπορεί να διαστρεβλώσει την κυματομορφή της γραμμής παροχής κατά την φόρτιση του πυκνωτή ή πυκνωτών του DC-bus. Η παραγόμενη αρμονική παραμόρφωση μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για το δίκτυο διανομής και ο τρόπος που αυτή δημιουργείται, απεικονίζεται παρακάτω.



Το παραγόμενο ρεύμα όπως φαίνεται δεν έχει ακριβώς την DC μορφή, αλλά έχει την κυματομορφή που εικονίζεται και που φέρει πολλές ανώτερες αρμονικές που είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους. Αυτές οι αρμονικές εξαπλώνονται και μολύνουν όλο

το δίκτυο διανομής. Η παραμόρφωση της τάσης που παράγεται από τους μετατροπείς συχνότητας στην έξοδο, είναι της παρακάτω μορφής και δεν έχει την συνήθη ημιτονοειδή μορφή. Μια τέτοια τάση μπορεί να προκαλέσει σοβαρά λειτουργικά προβλήματα σε ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό.



Αν οι αρμονικές υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα από τη νομοθεσία επίπεδα, υπάρχουν διάφοροι τρόποι να περιοριστούν. Η αρμονική παραμόρφωση προέρχεται από τον ανορθωτή, ο οποίος τροφοδοτείται με ρεύμα που στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζει στρεβλώσεις 70-100%, λόγω των επιμολύνσεων του δικτύου. Με την χρήση ειδικών τριφασικών πηνίων στην είσοδο του ανορθωτή, οι στρεβλώσεις περιορίζονται στο 30-40%. Τέτοια πηνία ανεβάζουν το κόστος των μετατροπέων 10-20% και συνήθως είναι ενσωματωμένα στους μετατροπείς ως στάνταρ. Η διάταξη εικονίζεται παρακάτω.

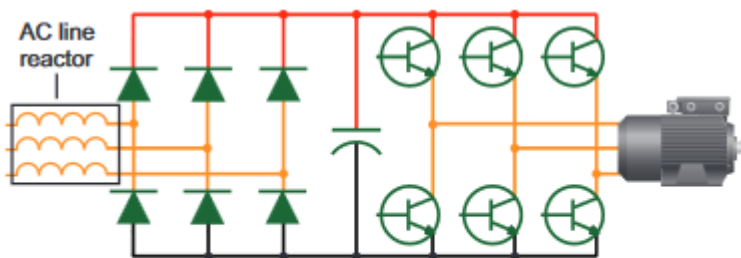
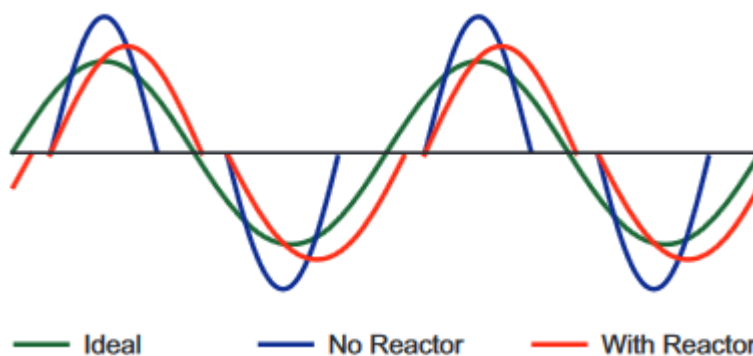
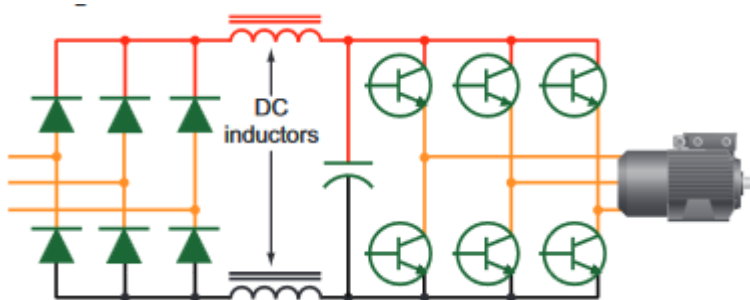


Figure 8



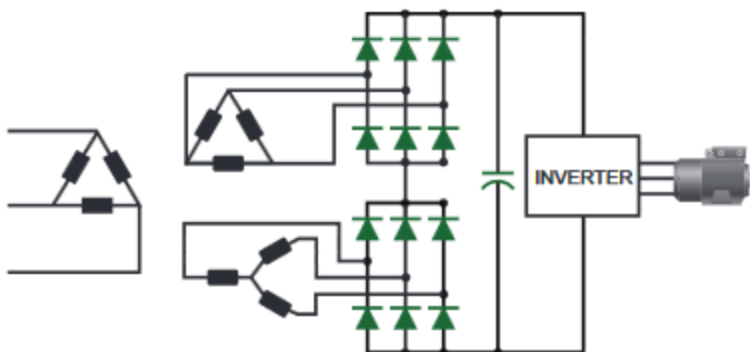
Τα φίλτρα εισόδου – πηνία που αναφέρθηκαν, διορθώνουν την τάση εισόδου από τις αρμονικές και από την όποια ασυμμετρία. Απαιτούν όμως ιδιαίτερη προσοχή μιας και μπορεί να οδηγήσουν σε πτώσεις τάσης του DC – bus, ειδικά αν η είσοδος δεν είναι πολύ υψηλή, με αποτέλεσμα η τάση εξόδου του μετατροπέα να μην επαρκεί για την οδήγηση του κινητήρα. Ως γενικός κανόνας, η επαγωγή τέτοιων πηνίων δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 5%.

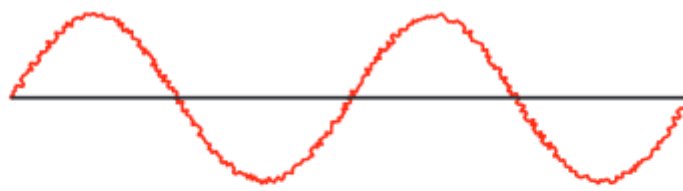
Εκτός από τους reactors – AC πηνία που προαναφέρθηκαν και που μπαίνουν στην είσοδο των μετατροπέων, τα πηνία DC συνδέονται στο DC – bus, όπως φαίνεται παρακάτω.



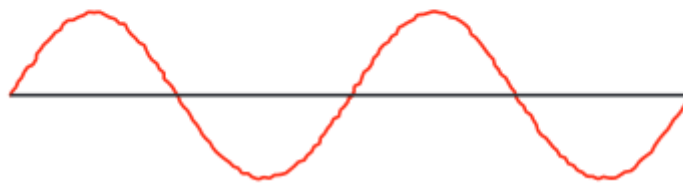
Στόχος τους να περιορίσουν την πτώση τάσης και τις παραγόμενες αρμονικές, κυρίως την 5^η αρμονική που είναι από τις πιο επιβλαβείς. Ένα μειονέκτημα είναι ότι ο μετατροπέας γίνεται πιο ευαίσθητος σε υπερτάσεις και ασυμμετρίες του δικτύου και για τον λόγο αυτό τα πηνία αυτά πρέπει να συνοδεύονται από τους reactors – AC πηνία που προαναφέρθηκαν.

Ένας τρίτος τρόπος περιορισμού των αρμονικών είναι η χρήση περισσότερων ημιαγωγών και μετασχηματιστών με περισσότερα δευτερεύοντα τυλίγματα, για τον περιορισμό της κυμάτωσης στην κυματομορφή του ρεύματος εξόδου, όπως φαίνεται παρακάτω.





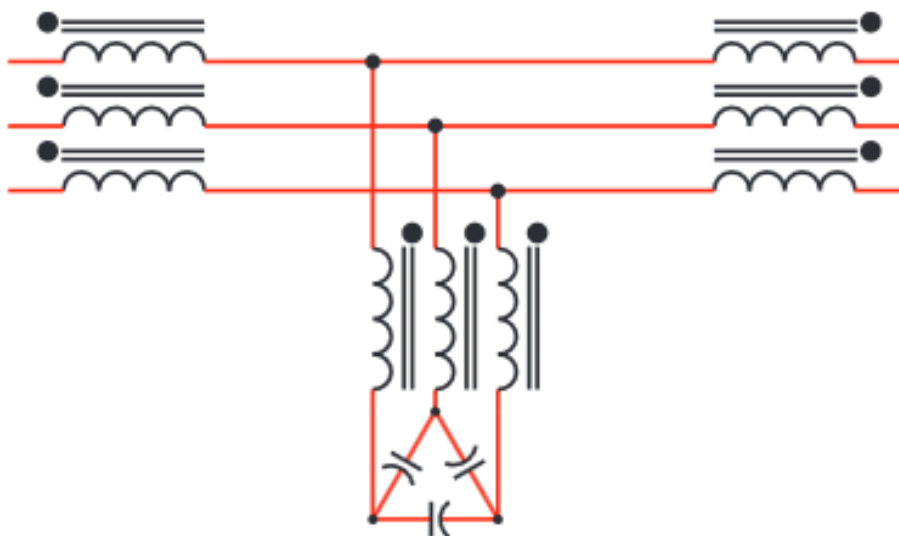
12-pulse input current

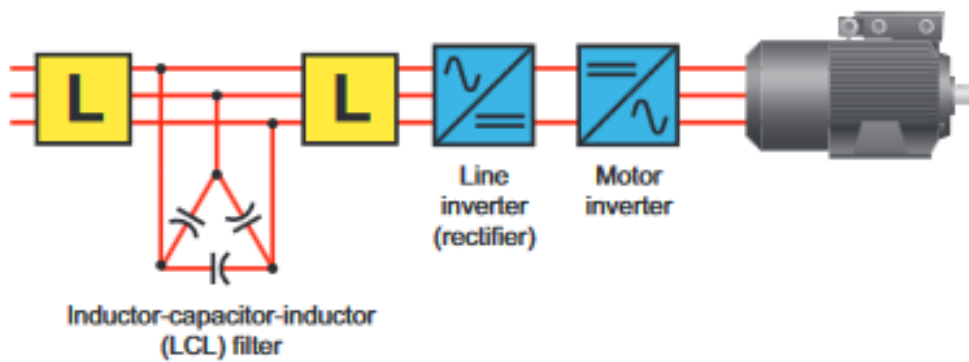
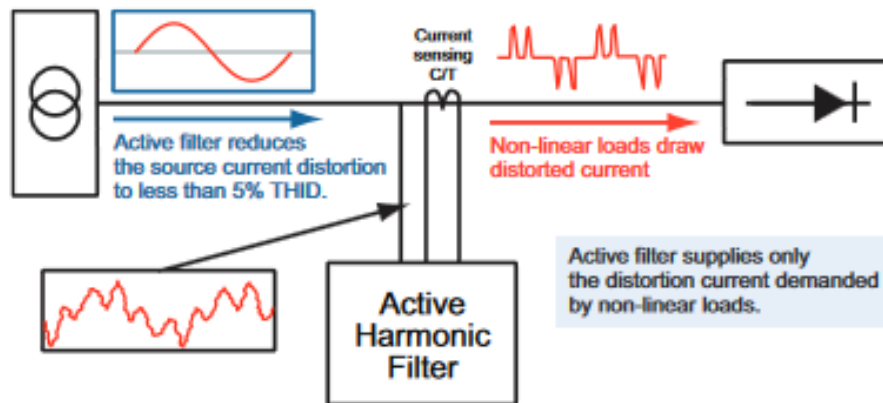


18-pulse input current

Τέτοιες διατάξεις κοστίζουν 4-5 φορές την τιμή ενός απλού μετατροπέα και συνήθως αποφεύγονται.

Άλλες διατάξεις τέλος είναι τα παθητικά – passive – και τα ενεργά – active – φίλτρα. Τα παθητικά φίλτρα αποτελούνται από πυκνωτές, πηνία και συνήθως και αντιστάσεις που στόχο έχουν να εξαλείψουν ορισμένες και όχι όλες τις αρμονικές. Τα ενεργά φίλτρα είναι στην ουσία δύο inverters, ένας τροφοδοτεί τον κινητήρα και ο άλλος τροφοδοτείται με ρεύμα από το δίκτυο. Τέτοιες διατάξεις φίλτρων εικονίζονται παρακάτω,





Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίδεται κατά την αγορά ενός μετατροπέα στην αρμονική ανάλυση, μιας και ορισμένοι κατασκευαστές είναι καλύτεροι από τους άλλους, ανάλογα με το μέγεθος του μετατροπέα. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, οι βασικές διατάξεις προστασίας είναι ενσωματωμένες στους μετατροπείς και δεν χρειάζονται παραπάνω μέτρα προστασίας, εκτός κι αν πρόκειται για εξειδικευμένες εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

CASE STUDIES

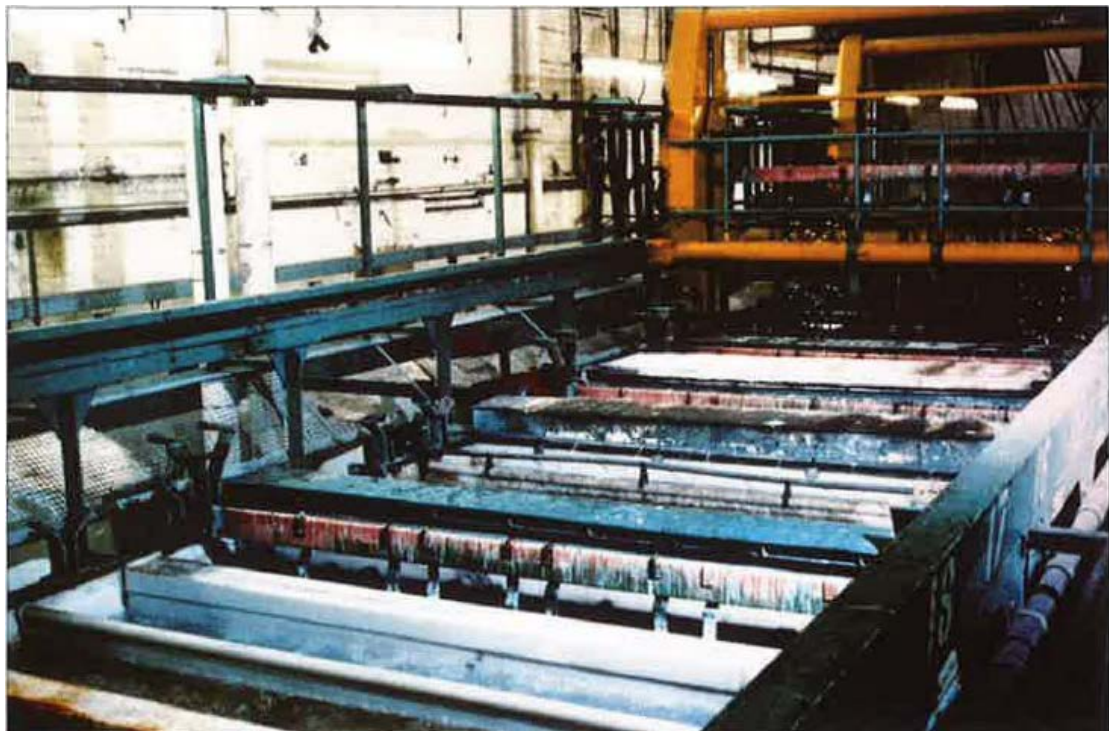
Παρακάτω παρατίθενται παραδείγματα με στόχο την δυνατότητα οικονομικών οφειλών και την δυνατότητα βελτίωσης της λειτουργίας και της αξιοπιστίας των αντλιών. Για παράδειγμα, σε μια από τις περιπτώσεις, αυτό που είχε μεγάλη σημασία δεν ήταν το οικονομικό όφελος, αλλά η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της συγκεκριμένης εφαρμογής. Σε πολλές περιπτώσεις το οικονομικό όφελος εκφράζεται σε αμερικάνικα δολάρια, οπότε η αξία του ευρώ υπολογίζεται περίπου ίση με την αξία του δολαρίου και όπου αναφέρονται γαλόνια εννοούνται τα αμερικάνικα γαλόνια.

- **Παράδειγμα 1^ο: Εγκατάσταση μετατροπών συχνότητας σε αντλίες νερού ενός εργοστασίου.**

Επετεύχθη ενεργειακή οικονομία με την χρήση μετατροπών συχνότητας σε δύο αντλίες νερού που τροφοδοτούν το βροχοειδές κύκλωμα σωληνώσεων μιας τοπικής εταιρείας κατασκευής ηλεκτρολογικού υλικού. Πρωτύτερα η αντλίες λειτουργούσαν στο ονομαστικό τους φορτίο και ο έλεγχος της πίεσης γινόταν με την χρήση βανών by-pass. Το κόστος της επένδυσης ανήλθε στα 11.350 USD σε ισοτιμίες του 2004 και απέφερε κέρδη 9.700 USD ετησίως ή αλλιώς 191MWh ετησίως με κόστος 0,05€/KWh. Ο δακτύλιος διανομής αποτελείτο από χυτοσίδηρο έξι ιντσών και τροφοδοτείτο από δεξαμενή αποθήκευσης νερού 910.000 λίτρων από την εταιρία ύδρευσης με δύο αντλίες επαγωγικών κινητήρων 15KW έκαστος σε λειτουργία on-off. Ταυτόχρονα τροφοδοτείτο από ιδιωτική γεώτρηση νερού της εταιρείας με αντλία επαγωγικού κινητήρα 30KW, απευθείας. Ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις οι δύο αντλίες του δοχείου περιόριζαν την πίεσή τους με χρήση βανών by-pass, στην περίπτωση της γεώτρησης, η παροχή της αντλίας στραγγαλιζόταν με περιορισμό της βάνας κατάθλιψης. Με χρήση μετατροπέα συχνότητας ονομαστικής ισχύος 27KW, η ρύθμιση των στροφών γινόταν με χρήση ποτενσιομέτρου, ανάλογα με την επιθυμητή παροχή, αυτόματα και χειροκίνητα. Η βάνα στην κατάθλιψη καταργήθηκε. Οι

μετατροπείς συχνότητας των αντλιών στην περίπτωση του δοχείου είχαν ονομαστική ισχύ 15KW έκαστος με αυτόματη ρύθμιση των στροφών ανάλογα με την πίεση στον δακτύλιο. Οι βάνες by-pass καταργήθηκαν.

Η καταναλισκόμενη ενέργεια καταγράφηκε με λειτουργία αρχικά στις ονομαστικές στροφές, με χρήση βανών και στη συνέχεια με την χρήση των μετατροπέων συχνότητας. Η αντλία της γεώτρησης σημείωσε μείωση ετησίως κατά 79.300KWh και άρα 30% και οι αντλίες του δοχείου μείωση 111.750KWh και άρα 88%. Συνολικά κέρδος 191.050KWh ετησίως και άρα 48%. Οπότε στην περίπτωση γεώτρησης ο μετατροπέας συχνότητας κόστισε 6.750USD με ετήσιο κέρδος 4.000USD και άρα απόσβεση σε 19 μήνες. Στην περίπτωση του δοχείου οι μετατροπείς κόστισαν 4.600USD με ετήσιο κέρδος 5.700USD και απόσβεση σε 10 μήνες. Συνολικό όφελος 9.700USD το έτος και απόσβεση έργου στους 14 μήνες.



- **Παράδειγμα 2^ο: Μετατροπέας συχνότητας σε αντλιοστάσιο λυμάτων.**

Ο θόρυβος και το ενεργειακό κόστος μειώθηκαν με την χρήση μετατροπέα συχνότητας, ώστε η αντλία να λειτουργεί στις ελάχιστες απαιτούμενες στροφές μειώνοντας και τις τριβές στις σωληνώσεις. Υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης σε λιγότερο από δύο χρόνια. Το κέρδος έφτασε τις 131.000USD σε χρονικό ορίζοντα 20ετίας.

Προκειμένου να υπολογίζεται η στάθμη της δεξαμενής, εγκαταστάθηκε ένα ραντάρ υπερήχων, το οποίο αυξομειώνει τις στροφές των αντλιών ανάλογα με τη στάθμη, ακόμα και τις σταματούσε. Αυτό οδήγησε σε λειτουργία των κινητήρων μεταξύ 73% και 88%, ταχύτητες βέλτιστες για την ζωή και λειτουργία των κινητήρων. Οι παλιές αντλίες μετέφεραν 14 κυβικά λυμάτων ανά κιλοβατώρα, ενώ οι νέες αντλίες με τους μετατροπείς συχνότητας έφτασαν τα 21 κυβικά ανά κιλοβατώρα, για την ίδια ταχύτητα με τις παλιές. Με μεταβλητή ταχύτητα, άγγιξαν τα 30 κυβικά ανά κιλοβατώρα. Η κατανάλωση ενέργειας με την αλλαγή αντλιών και κινητήρων με νέες, έπεσε στο (33-53)%, μετά μάλιστα από την εγκατάσταση και των μετατροπέων συχνότητας, έπεσε στο 20%. Η εγκατάσταση μάλιστα έριξε σημαντικά τα επίπεδα λειτουργικού θορύβου, γεγονός σημαντικό για την παρουσία ανθρώπων.

- **Παράδειγμα 3^ο: Χρήση μετατροπέων συχνότητας για άρδευση σε γήπεδα γκολφ.**

Σε τέτοιες εφαρμογές όπου η πίεση και η παροχή του δικτύου μεταβάλλονται ανάλογα με τα μπεκ ποτίσματος που κάθε φορά ενεργοποιούνται, γίνονται προσπάθειες προσαρμογής με την χρήση ηλεκτροβανών που ανοίγουν και κλείνουν. Σε πολλές όμως περιπτώσεις οι πιέσεις σοκάρουν το σύστημα, οδηγώντας μακροπρόθεσμα σε καταστροφή των σωληνώσεων. Με την χρήση μετατροπέων συχνότητας επιτυγχάνεται βέλτιστος έλεγχος μεταβολής της πίεσης και της παροχής με σημαντικό ενεργειακό όφελος, κέρδος σε νερό, συντήρηση και εργατώρες. Αναφέρονται τρία διαφορετικά γήπεδα γκολφ με θετικά αποτελέσματα για τους μετατροπείς, με διαφορετική τάξη μεγέθους κάθε φορά.

Γκολφ κλαμπ στην περιοχή του Λονδίνου: Αντικαταστάθηκαν οι παλιές αντλίες με νέες 7,5KW με μετατροπείς συχνότητας και αισθητήρια πίεσης και παροχής στην έξοδο. Με τον τρόπο αυτό κρατείται σε σταθερά επίπεδα το νερό που κάθε φορά χρειάζεται, δίχως άσκοπες σπατάλες και περιττές εργασίες συντήρησης από φθορές των σωληνώσεων και των αντλιών. 450 σπρίνγκλερς σε 3 γκρουπ τροφοδοτούνται από τρεις αντλίες, μία για κάθε γκρουπ. Με τον τρόπο αυτό, διαφορετικές ομάδες σπρίνγκλερ ενεργοποιούνται κάθε φορά με τελικό στόχο την βέλτιστη άρδευση. Με τον τρόπο αυτό, ο κύκλος άρδευσης επιτυγχάνεται δύο ημέρες γρηγορότερα από προηγουμένως.



Ένα γήπεδο γκολφ στη Νότια Καλιφόρνια: Αντικαταστάθηκαν τρεις αντλίες 55KW και μια τζόκεϊ 30KW με τρεις αντλίες 45KW και μια τζόκεϊ 4KW. Η ενέργεια αυτή οδήγησε στην εξάλειψη τεσσάρων σπασιμάτων τη μέρα στις σωληνώσεις από τις υψηλές πιέσεις. Οδήγησε σε μείωση του κόστους ρεύματος κατά 25.000USD ετησίως – μείωση κατά 46%. Ο έλεγχος και πάλι της πίεσης και της παροχής ήταν ο βέλτιστος δυνατός.

Ένα γήπεδο γκολφ στη περιοχή Palm Springs της Καλιφόρνια: Αντικαταστάθηκαν τρεις αντλίες 90KW, μία αντλία 55KW και μια τζόκεϊ 22KW, με τρεις αντλίες 55KW, μία 30KW και μια τζόκεϊ 5,5KW. Όλες οι νέες αντλίες ήταν με μετατροπείς συχνότητας. Η ενεργειακή οικονομία ήταν της τάξης των 100.000 κιλοβατρωρών το μήνα, ήτοι 9.000USD, με κόστος κιλοβατώρας τα 0,09USD. Κέρδος της τάξης (30-50)%. Και πάλι το κόστος συντήρησης μειώθηκε και ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού αυξήθηκε.

-
- **Παράδειγμα 4°: Οι μετατροπείς συχνότητας σε συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού.**

Σημειώθηκε μεγάλο οικονομικό όφελος από αντλίες που χρησιμοποιούνταν σε τέτοιου είδους συστήματα και που λειτουργούσαν στην ονομαστική τους ταχύτητα. Οι μετατροπείς συχνότητας εγκαταστάθηκαν σε αντλίες κυκλοφορίας ψυχρού και θερμού νερού και σε αντλίες νερού μέσης πίεσης για τον χώρο του μπόιλερ. Η εγκατάσταση έγινε σε μεγάλη ιδιόκτητη τράπεζα του Λονδίνου και 2 μετατροπείς συχνότητας 75KW, ένας 22KW και ένας 4KW, αναβαθμίστηκαν. Τοποθετήθηκαν αισθητήρες πίεσης, ροής και θερμοκρασίας στις σωληνώσεις με τον έλεγχο να γίνεται μέσω του BMS – Building Management System. Οι αντλίες πλέον εργάζονται στο 40% της ονομαστικής του ταχύτητας. Το κόστος σε ηλεκτρισμό και φυσικό αέριο πλέον ανέρχεται στο 90% του προηγούμενου, έχοντας πλέον ως κέρδος τη μειωμένη συντήρηση του εξοπλισμού.

- **Παράδειγμα 5° : Αναβάθμιση των αντλητικών συστημάτων σε ένα διυλιστήριο πετρελαίου, περιλαμβανομένης της εγκατάστασης μετατροπέων συχνότητας.**

Αναφέρεται η εγκατάσταση μετατροπέων συχνότητας σε μία αντλία μεταφοράς προϊόντος και σε μία τροφοδοτική αντλία σε ένα διυλιστήριο στο San Francisco. Στην πρώτη περίπτωση το κέρδος ετησίως ανήλθε στις 120.000USD και στην δεύτερη περίπτωση στα 220.000USD. Οι κραδασμοί μειώθηκαν και το κόστος συντήρησης επίσης. Δεν υπήρξε αρχικό κεφάλαιο επένδυσης, καθώς τα κέρδη μοιράστηκαν ανάμεσα σε πελάτη και προμηθευτή. Η συνολική επένδυση ήταν του ύψους των 1.200.000USD. Τα ετήσια κέρδη μόνο από τους μετατροπείς συχνότητας ήταν 340.000USD ετησίως, ενώ τα συνολικά κέρδη ανήλθαν στις 750.000USD ετησίως. Ο χρόνος απόσβεσης στην περίπτωση επένδυσης, θα ήταν 18 μήνες.

Η μετατροπή του διυλιστηρίου από Vacuum Gas Oil Plant σε Diesel Hydro Treating Plant, άφησε τις αντλίες που προϋπήρχαν ως υπερδιαστασιοποιημένες. Έτσι, εργάζονταν συνήθως στο 40% του φορτίου τους, με αυξημένους κραδασμούς. Εγκαταστάθηκε ένας μετατροπέας συχνότητας 1650KW στην τροφοδοτική αντλία και ένας 500KW στην αντλία μεταφοράς προϊόντος. Αντικαταστάθηκαν κάποια μέρη της δευτερεύουσας τροφοδοτικής αντλίας και σε μία τουρμπίνα 300KW. Άλλαξε ο τρόπος

λειτουργίας για τις αντλίες εφεδρείας 3.700KW και 3.000KW, αντίστοιχα. Το ενεργειακό όφελος μόνο από τους μετατροπείς συχνότητας ανήλθε στις 500MWh μηνιαίως και από τις άλλες επεμβάσεις σε άλλες 500MWh μηνιαίως. Το συνολικό ετήσιο όφελος ήταν 750.000USD, τα 340.000USD μόνο από τους μετατροπείς. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εξοπλισμού και τα χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

- **Παράδειγμα 6^ο: Χρήση μετατροπέων συχνότητας σε αυτοματοποιημένη διαδικασία παραγωγής, σε αντλία κυκλοφορίας.**

Αναφέρεται αναβάθμιση αντλίας με χρήση μετατροπέα συχνότητας σε μεγάλο παρασκευαστή χημικών προϊόντων καλλωπισμού. Επετεύχθη μεγάλη ενεργειακή μείωση του κόστους συντήρησης και της φθοράς των mechanical seals. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, λόγω του χαμηλού φορτίου παρατηρούνταν φαινόμενα σπηλαίωσης και φθορές της αντλίας, λόγω λειτουργίας εν κενώ λόγω ξεπιάσματος. Η επένδυση κόστισε 25.000USD με όφελος 62.500USD ετησίως. Χρόνος απόσβεσης της επένδυσης οι πέντε μήνες.

Ο πελάτης είναι μεγάλη εταιρεία στον χώρο των σαπουνιών και των απορρυπαντικών. Η αντλία λόγω των χημικών έπρεπε να είναι ανοξειδωτή. Η αντλία κυκλοφορούσε το προϊόν σε έναν εναλλάκτη που ακολουθούσε μιας αποστακτικής στήλης, ώστε να παραμένει ζεστό. Όσο υπήρχε υγρό στην αναρρόφηση, η αντλία λειτουργούσε χωρίς πρόβλημα. Όταν όμως άδειαζε η στήλη, την τελευταία μία ώρα λόγω της χαμηλής αναρρόφησης η αντλία παρουσίαζε φαινόμενα σπηλαίωσης με αποτέλεσμα να θέλει αλλαγή mechanical seal κάθε 17 ημέρες. Η αντλία γύριζε σταθερά στις 1.170ΣΑΛ.

Με την χρήση μετατροπέα συχνότητας με τα κατάλληλα αισθητήρια, κάθε φορά που παρατηρείτο χαμηλή αναρρόφηση, η αντλία χαμήλωνε τις στροφές ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα σπηλαίωσης. Τα mechanical seals σχεδόν σταμάτησαν να καταστρέφονται και η παραγωγικότητα αυξήθηκε κατά (10-15)%. Η αρχική εφαρμογή χρησιμοποιούσε κινητήρα 30KW στις 1.170ΣΑΛ. Η αναβάθμιση χρησιμοποιούσε ισχύ από (5-7,5)KW στις (550-700)ΣΑΛ με ετήσια κέρδη 8.500USD, υπολογίζοντας 0,04USD την κιλοβατώρα. Το ετήσιο κέρδος από τα mechanical seals ανήλθε στις 54.000USD και έτσι ο χρόνος απόσβεσης έγινε στους 5 μήνες.

-
- **Παράδειγμα 7^ο: Μετατροπέας συχνότητας σε μεταφορά πολτού, σε μύλους χαρτιού.**

Αναφέρεται εγκατάσταση μετατροπέα συχνότητας σε αντλία χαμηλής πυκνότητας σε μύλους χαρτιού για τη μεταφορά πολτού με ετήσιο κέρδος 30.000USD. Το κόστος της επένδυσης ήταν 17.000USD με απόσβεση σε λιγότερο από έναν χρόνο. Η αντλία έπρεπε να τροφοδοτεί πύργο με πολτό σε αυτοματοποιημένη διαδικασία. Ο κινητήρας χαμηλής τάσης 150KW εργαζόταν συνεχώς σε ονομαστικές στροφές με βάνα 10 ιντσών στην κατάθλιψη, η οποία λόγω των αναγκών της παραγωγής ήταν συνεχώς σχεδόν κλειστή. Έτσι δημιουργούνταν φαινόμενα σπηλαίωσης με συνεχείς φθορές στην αντλία, την βάνα και στις σωληνώσεις. Με τον μετατροπέα και τα απαραίτητα αισθητήρια, η βάνα καταργήθηκε και ο κινητήρας από τις 1.150ΣΑΛ εργαζόταν πλέον στις 450ΣΑΛ με οικονομία κατά μέσο όρο 75KW και άρα 17.000USD ετησίως. Από τις επισκευές της βάνας ο πελάτης γλίτωσε άλλα 13.000USD ετησίως.

- **Παράδειγμα 8^ο: Έλεγχος της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση μετατροπέων συχνότητας, σε αντλίες θετικής μετατόπισης.**

Η εφαρμογή αφορά ψύξη με νερό στον περιβάλλοντα χώρο του παραγόμενου χαρτιού σε μύλους χαρτιού με μορφή μικρών σταγονιδίων ώστε το περιβάλλον να μην στεγνώνει. Η απαίτηση ήταν 0.1-0.3 λίτρα το λεπτό σε πιέσεις 80 bar. Το νερό περνούσε στην αέρια φάση στα ακροφύσια απορροφώντας θερμότητα από το περιβάλλον και ρίχνοντας την θερμοκρασία. Με την χρήση αισθητήρα θερμοκρασίας γινόταν έλεγχος της παροχής του νερού. Η διάταξη εικονίζεται παρακάτω.



- **Παράδειγμα 9^ο: Σύστημα υδροδότησης κτιρίου.**

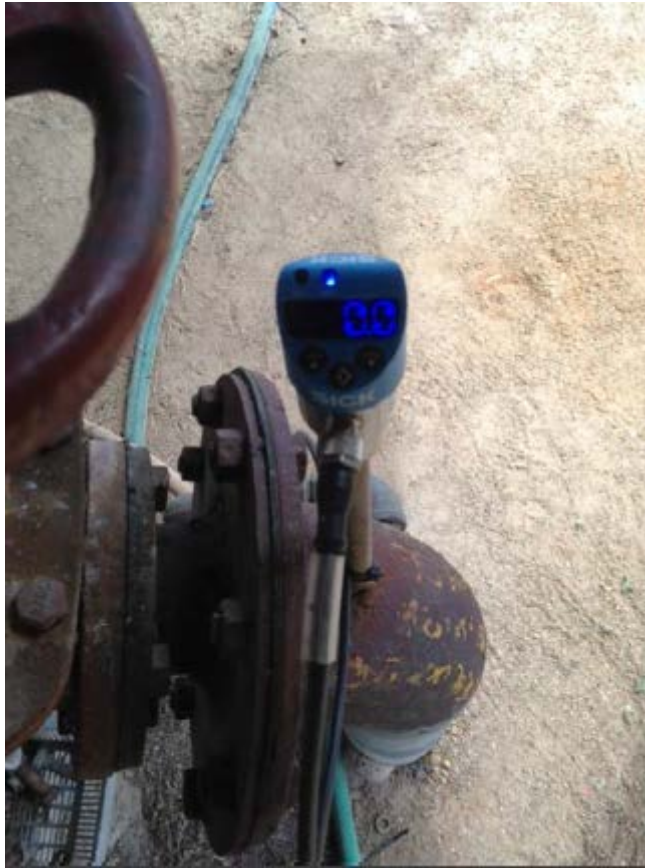
Αναφέρεται εφαρμογή κατά την οποία νερό πρεσάρεται στο υπόγειο κτιρίου με στόχο να φτάσει μέχρι και την οροφή του κτιρίου. Περιλαμβάνει αντλίες, βάνες και σωληνώσεις που με την ανάγκη για επισκευή του συστήματος, αναβαθμίστηκαν. Το κτίριο αποτελεί τα δημοτικά γραφεία μιας πόλης 149.000 κατοίκων και είναι εννιαόροφο. Το παλιό σύστημα παρήγαγε σταθερή πίεση 140psi, ανεξάρτητα από τις ανάγκες που υπήρχαν. Στην περίπτωση υπερπίεσης μια βάνα άνοιγε και το νερό είτε πετιόταν, είτε επέστρεφε στην αναρρόφηση για την προστασία των σωληνώσεων. Το νέο σύστημα επιτηρεί με αισθητήρια την πίεση που κάθε φορά χρειάζεται και αναλόγως μεταβάλλει τις στροφές της αντλίας μέσω μετατροπέα συχνότητας και σε περιπτώσεις που χρειάζεται θέτει την αντλία σε «sleep mode». Με τον τρόπο αυτό οι φθορές του εξοπλισμού περιορίζονται και μεγαλώνει ο χρόνος ζωής του. Ο υπεύθυνος της εγκατάστασης δήλωσε ότι πλέον η πίεση του δικτύου από τα 140psi έπεσε στα 85psi, χωρίς να υπάρχουν παράπονα από κανένα. Επίσης οι στροφές του κινητήρα μειώθηκαν στο 50% με συνολικό οικονομικό όφελος που ξεπέρασε το 40% του αρχικού κόστους.

- **Παράδειγμα 10^ο: Άρδευση φάρμας**

Η συγκεκριμένη εφαρμογή αφορά σύστημα άρδευσης στο Dimbulah, πόλη στο Βόρειο Queensland, στην Αυστραλία. Το παλιό σύστημα περιλάμβανε αντλία 45KW με βάνα κατάθλιψης στα 45psi σταθερά. Ένας κύκλος άρδευσης περιλάμβανε 850 ώρες λειτουργίας και άρα 38.250KWh και συνολικά έξοδα για 0,14USD/KWh τα 5.400USD. Οι εικόνες από την αναβάθμιση της εγκατάστασης φαίνονται παρακάτω.







Τοποθετήθηκε μετατροπέας συχνότητας μάρκας Danfoss με κατανάλωση 19,5KW, ώστε να παράγει τα 45psi που χρειάζεται η εφαρμογή. Έτσι, οι καταναλισκόμενες κιλοβατώρες για έναν κύκλο ποτίσματος μειώθηκαν σε 16.575 με όφελος 3.100USD ανά κύκλο ποτίσματος. Το κόστος του μετατροπέα συχνότητας και του πρόσθετου εξοπλισμού ήταν 12.500USD με χρόνο αποπληρωμής τους τέσσερις κύκλους ποτίσματος. Επειδή κάθε κύκλος ποτίσματος αντιστοιχεί σε έναν χρόνο, ο χρόνος απόσβεσης είναι 4 χρόνια. Επειδή ο χρόνος ζωής του συγκεκριμένου μετατροπέα δίνεται 10 χρόνια από τον κατασκευαστή, αναμένεται κέρδος για έξι χρόνια της τάξης των 18.600USD. Από τις φωτογραφίες φαίνεται η βάνα κατάθλιψης τέρμα ανοιχτή πλέον, και ο αισθητήρας της πίεσης στην κατάθλιψη της αντλίας.

- **Παράδειγμα 11^ο: Άρδευση φάρμας.**

Αναφέρεται αντλία που εικονίζεται παρακάτω στα 90KW με ετήσιες ώρες λειτουργίας στα 170psi σταθερής πίεσης, ίσες με 985. Άρα οι ετήσιες κιλοβατώρες έφταναν τις 88.650 με 16.000USD ετήσιο κόστος.





Εγκαταστάθηκε μετατροπέας συχνότητας μάρκας Danfoss με κατανάλωση 60KW για να δίνει τα 170psi πίεσης που χρειάζονται. Με 0,18USD το κόστος ανά κιλοβατώρα, το ετήσιο όφελος άγγιξε τα 5.400USD και χρόνο απόσβεσης τα 3 χρόνια, αφού ο μετατροπέας κόστισε 17.000USD. Για χρόνο ζωής του μετατροπέα 10 χρόνια, το κέρδος της επένδυσης θα ανέλθει στα 37.800USD.

- **Παράδειγμα 12°: Η ABB συμβάλλει με τους μετατροπείς συχνότητας στη μείωση του ενεργειακού κόστους και αύξηση της αξιοπιστίας σε αντλιοστάσιο του Susworth.**

Το Susworth βρίσκεται στο Lincolnshire, προάστιο της κέντρο-ανατολικής Αγγλίας. Το αντλιοστάσιο ανήκει στην εταιρεία Shire-Group και αντλεί τα όμβρια ύδατα προς τον ποταμό Trent. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται οδηγούνται από κινητήρες ονομαστικής ισχύος 65KW και 75KW αντίστοιχα που λειτουργούν σε συνδυασμένο φορτίο 202 A. Και οι δύο αντλίες λειτουργούσαν συνεχώς στις 950ΣΑΛ. Οι δύο κινητήρες τροφοδοτούνταν από το δίκτυο μέσω μετασχηματιστή ισχύος 100KVA,

οπότε δε μπορούσαν να λειτουργούν ταυτόχρονα, ακόμα και σε περιόδους μεγάλων βροχοπτώσεων.

Η λύση ήταν να χρησιμοποιηθούν δύο μετατροπείς συχνότητας ABB, ο μιν πρώτος στα 41Hz καταναλώνοντας 38KW και οδηγώντας τον μεγάλο κινητήρα, ο δε δεύτερος στα 37,5Hz καταναλώνοντας 28KW και οδηγώντας τον μικρότερο κινητήρα. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο αντλίες εργάζονταν στο 80% της δυναμικότητας τους, εργάζονταν ταυτόχρονα, και ο μετασχηματιστής ισχύος δεν υπερφορτωνόταν. Μάλιστα ο όγκος του εκτοπιζόμενου νερού ήταν μεγαλύτερος από αυτόν μιας μόνο αντλίας και το συνήμιτονο της εγκατάστασης προφανώς βελτιωμένο. Εικόνες της εγκατάστασης φαίνονται παρακάτω.

Η εταιρεία που ανέλαβε τη μελέτη και την εγκατάσταση ήταν η Lincoln Electrical Services. Ο διευθυντής της εταιρείας, Peter Mayo, δήλωσε ότι αν και προτάθηκαν πολλές διαφορετικές λύσεις, αυτή με τους μετατροπείς συχνότητας ήταν η αποδοτικότερη και η οικονομικά συμφερότερη. Η ABB δοκίμασε δύο μετατροπείς συχνότητας ονομαστικής ισχύος 75KW και δαπάνησε τέσσερις εβδομάδες δοκιμών προτού προβεί στην τελική εγκατάσταση με την βέλτιστη παραμετροποίηση. Με την λύση αυτή επετεύχθη μεγαλύτερη αξιοπιστία της εγκατάστασης, έχοντας σε λειτουργία δύο αντλίες αντί για μία, και ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού αυξήθηκε, αφού σε χαμηλότερες στροφές και σε ομαλές εκκινήσεις οι καταπονήσεις είναι σημαντικά μικρότερες.





- **Παράδειγμα 13°: Εγκατάσταση μετατροπέων συχνότητας σε αντλίες μεταφοράς νερού.**

Το έργο πραγματοποιήθηκε από την αμερικάνικη μελετητική εταιρεία Woodstone Energy για χάρη εργοστασιακού πελάτη της. Δύο αντλίες με κινητήρες 300 ίππων έκαστη λειτουργούσαν στο 100% της ταχύτητας τους. Αντικαταστάθηκαν οι ομαλοί εκκινήτες – soft starters - με μετατροπείς συχνότητας και τοποθετήθηκαν τα κατάλληλα αισθητήρια στις σωληνώσεις. Το σύστημα τέθηκε εκτός και στη συνέχεια εντός και εξετάστηκε στο επόμενο shut down, δίχως να επηρεαστεί η παραγωγή. Το σύστημα λειτουργούσε συνεχώς 8760 ώρες τον χρόνο. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ανήλθε στις 747.213KWh με κέρδος 73.340USD. Παρακάτω επισυνάπτονται εικόνες της εγκατάστασης.



- **Παράδειγμα 14^ο: Εγκατάσταση μετατροπών συχνότητας σε ενυδρείο.**

Το NEWPORT AQUARIUM βρίσκεται στην περιοχή του Cincinnati και είναι γνωστό ως η εγκατάσταση των 380.000 γαλονιών νερού με καρχαρίες, όπου οι επισκέπτες μπορούν να θαυμάσουν αυτό το σπάνιο πια, είδος. Υπάρχουν γυάλινα τούνελ μέσα στο νερό όπου οι επισκέπτες μπορούν να θαυμάσουν καρχαρίες και άλλα ψάρια με πολύχρωμους φωτισμούς. Αυτό που δεν φαίνεται είναι η ομάδα συντήρησης που πασχίζει να κρατήσει τις δεξαμενές καθαρές με τέσσερις αντλίες κινητήρων 25 ίππων έκαστη που κυκλοφορούν συνεχώς το νερό και μάλιστα ανάποδα 3 φορές την εβδομάδα για να καθαριστούν τα φίλτρα. 30.000 γαλόνια νερού περνούν μέσα από 7 φίλτρα για να καθαριστούν, με μία βάνα στην κοινή κατάθλιψη να ρυθμίζει την ροή,

σύμφωνα με τα λεγόμενα της υπεύθυνης μηχανικού, Emily Margolen. Οι θερμοκρασίες λειτουργίας των κινητήρων άγγιζαν τους 52 βαθμούς Κελσίου.



Τα αντλητικά συστήματα σε τέτοιες περιπτώσεις είναι οικονομικά ασύμφορα. Σύμφωνα με την Διεθνή Κοινότητα Αυτοματισμών, οι αντλίες αυτές αποτελούν το 20% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης και σε πολλές περιπτώσεις το 50% της βιομηχανικής κατανάλωσης. Οι βάνες που χρησιμοποιούνται είναι εξαιρετικά ευπαθείς σε φθορές, διαβρώσεις και συντήρηση γενικότερα, γεγονός που ανεβάζει το κόστος ακόμα περισσότερο. Το ενυδρείο, έχοντας υπόψη του όλα αυτά αναγκάστηκε να προχωρήσει σε δραστικές λύσεις.

Το ενυδρείο στράφηκε στην Mitsubishi και συγκεκριμένα στην εταιρεία KingsMen LLC για να βοηθήσει, οπότε δοκιμαστικά εγκαταστάθηκε ένας μετατροπέας σειράς F700 της Mitsubishi σε μία από τις αντλίες, σε λιγότερο από 4 ώρες, όπως εικονίζεται παρακάτω.



Η λειτουργία με μετατροπέα απέφερε 30% μείωση του ενεργειακού κόστους και έριξε την θερμοκρασία του κινητήρα στους 44,5 βαθμούς Κελσίου. Η επιτυχής λειτουργία οδήγησε σε εγκατάσταση άλλων τριών μετατροπέων συχνότητας καταργώντας την βάνα στην κατάθλιψη και με μία επιδότηση 3.000USD, η απόσβεση της επένδυσης έγινε σε 2 μήνες. Ο κατασκευαστής δίνει για το συγκεκριμένο μετατροπέα εγγύηση καλής λειτουργίας 5 ετών. Ο διευθυντής της εγκατάστασης Marcus Barrett δήλωσε ότι η απόφαση για μια τέτοια επένδυση ήταν εύκολη, μιας και επέφερε χιλιάδες δολάρια κέρδος τον κάθε χρόνο.



-
- **Παράδειγμα 15^ο: Εγκατάσταση μετατροπών συχνότητας σε σύστημα ψύξης - θέρμανσης κτιριακών εγκαταστάσεων.**

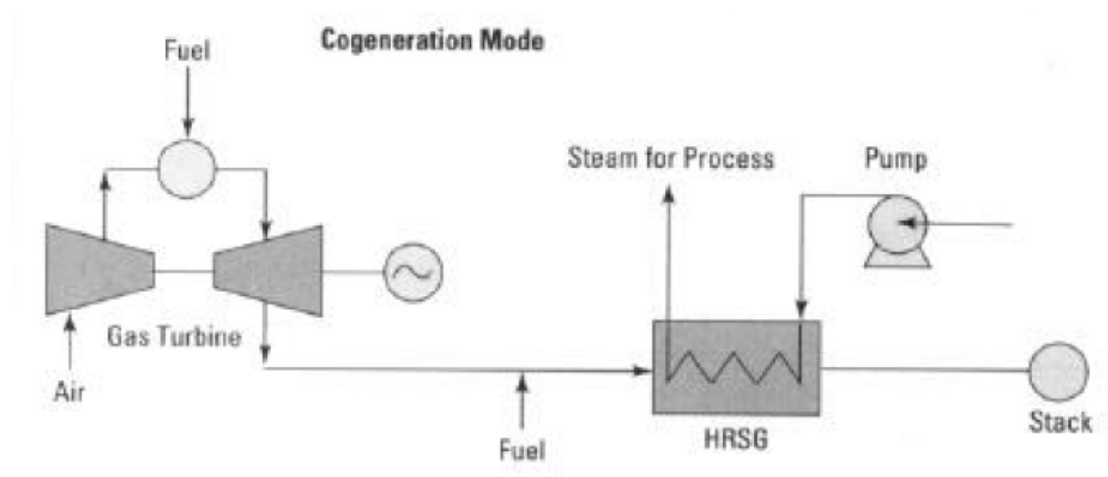
Η αμερικάνικη εταιρεία AthenaHealth ζήτησε από τη μελετητική εταιρεία Cordjia Capital Projects Group να της προτείνει τρόπους προκειμένου να μειώσει την ενεργειακή της κατανάλωση στις κτιριακές της εγκαταστάσεις στο Belfast, στο Maine. Η πρόταση του μελετητή ήταν να εγκαταστήσει μετατροπείς συχνότητας σε δύο κλειστά κυκλώματα στα 12.500m² κτίρια που διέθετε, για την ψύξη και την θέρμανση. Προστέθηκαν επίσης 200 ηλεκτροβάνες για τον έλεγχο της ροής. Στο κλειστό κύκλωμα του κυκλοφορητή με τις 200 αντλίες μάρκας MacQuay και τις 6 κλιματιστικές μονάδες Liebert 5 τόνων έκαστη, προστέθηκαν μετατροπείς συχνότητας στις δύο κύριες αντλίες κυκλοφορίας και η ροή του νερού περιορίστηκε από τα 2.490 γαλόνια στα 1.020 γαλόνια το λεπτό, δίχως κάποιο παράπονο. Στο κύκλωμα του θέρμανσης του νερού από την άλλη, προστέθηκαν μετατροπείς συχνότητας στις άλλες δύο αντλίες κυκλοφορίας του ζεστού νερού και η ροή έπεσε από τα 580 γαλόνια στα 309 γαλόνια το λεπτό. Το κόστος της επένδυσης άγγιξε τα 142.350USD με ετήσιο οικονομικό όφελος τα 106.899USD και χρόνο απόσβεσης τους 9 μήνες. Σε αυτά δεν υπολογίζονται οι μειωμένες δαπάνες σε πετρέλαιο θέρμανσης για το ζέσταμα του νερού και οι μειωμένες δαπάνες συντήρησης. Περιβαλλοντικά τώρα, οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 389 τόνους ετησίως, ή αλλιώς, κατά όσο εκλύει η λειτουργία 90 συμβατικών αυτοκινήτων. Φωτογραφία της εγκατάστασης φαίνεται παρακάτω.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ

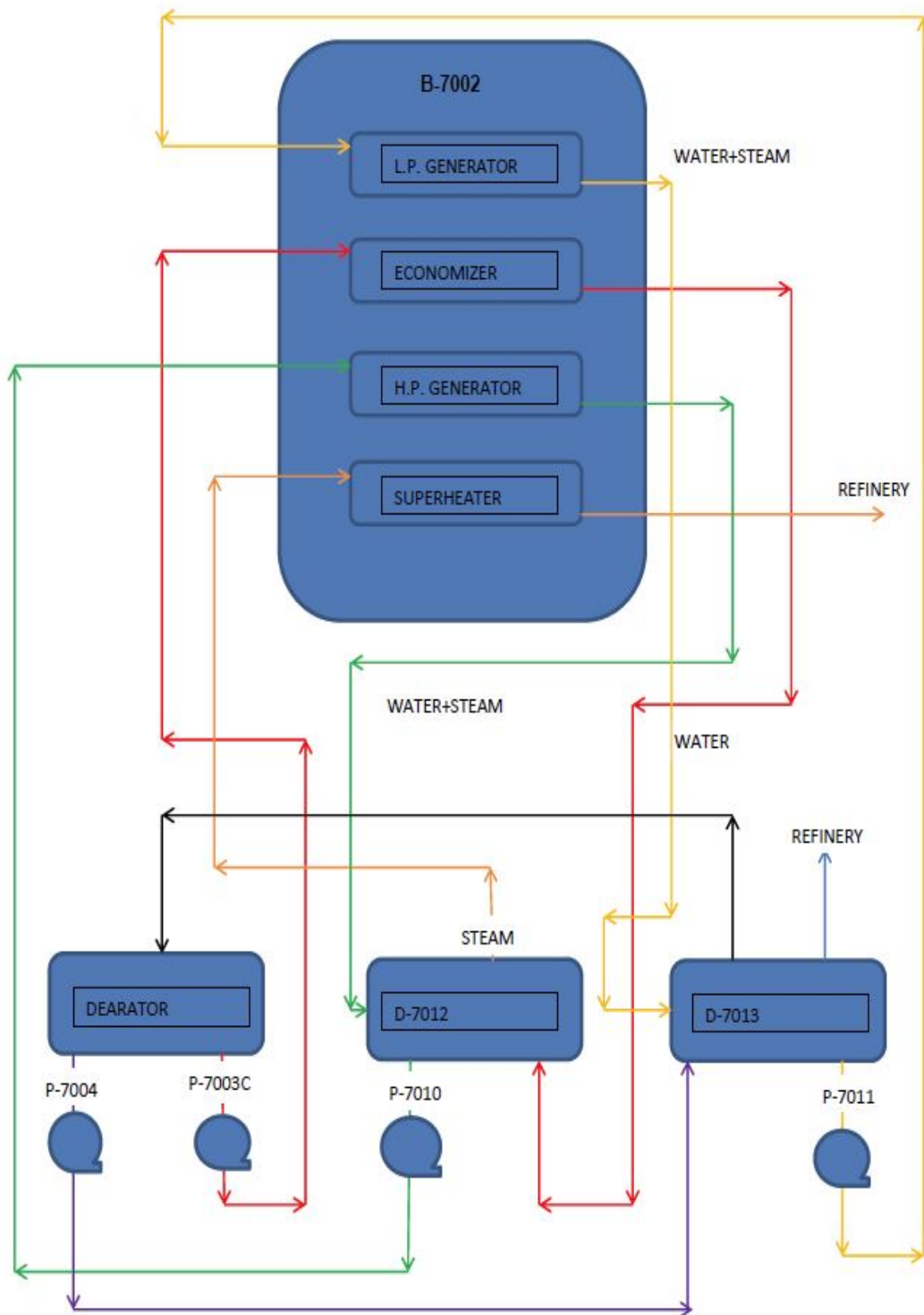
Στο διυλιστήριο των Αγίων Θεοδώρων λειτουργεί μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος για τις ανάγκες του διυλιστηρίου. Αποτελείται από πέντε αεριοστροβίλους ίδιας δυναμικότητας και το καύσιμο είναι φυσικό αέριο από το δίκτυο, μαζί με μείγμα μεθανίου και αιθανίου, που παράγεται από το ίδιο το διυλιστήριο. Ανά δύο στροβίλους υπάρχει και ένας λέβητας fuel gas – μείγμα μεθανίου και αιθανίου, εκτός από την πέμπτη μηχανή που καταλήγει σε μονό λέβητα. Οι δύο λέβητες που είναι διπλοί είναι ίδιας δυναμικότητας περίπου και ο τρόπος λειτουργίας τους είναι κοινός. Αποτελούνται από καυστήρες fuel gas στην βάση τους που σε συνδυασμό με τα απαέρια των γεννητριών μετατρέπουν το νερό σε ατμό χαμηλής και υψηλής πίεσης για τις ανάγκες του διυλιστηρίου, όπως φαίνεται απλοποιημένα στο παρακάτω σχήμα.

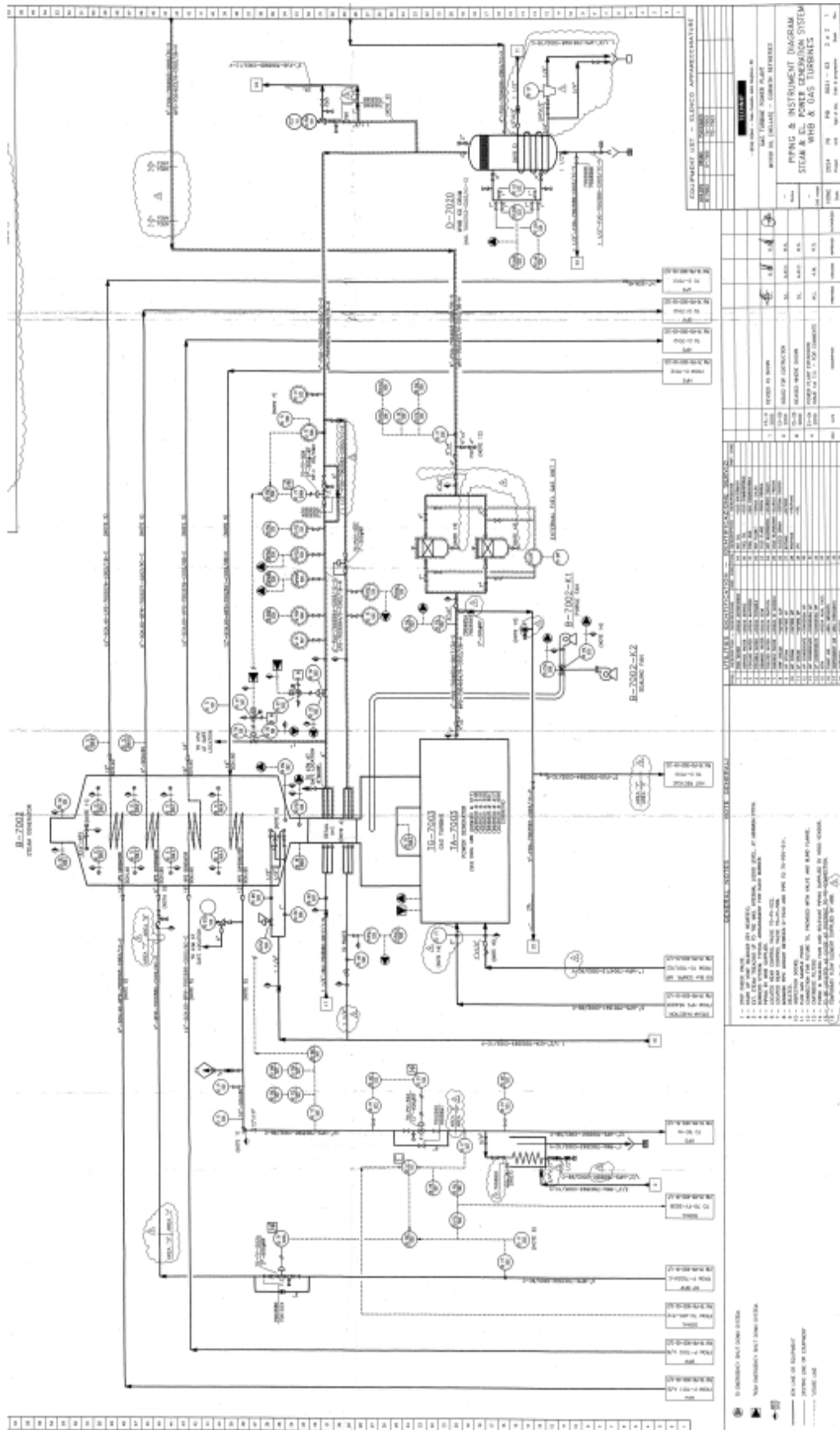


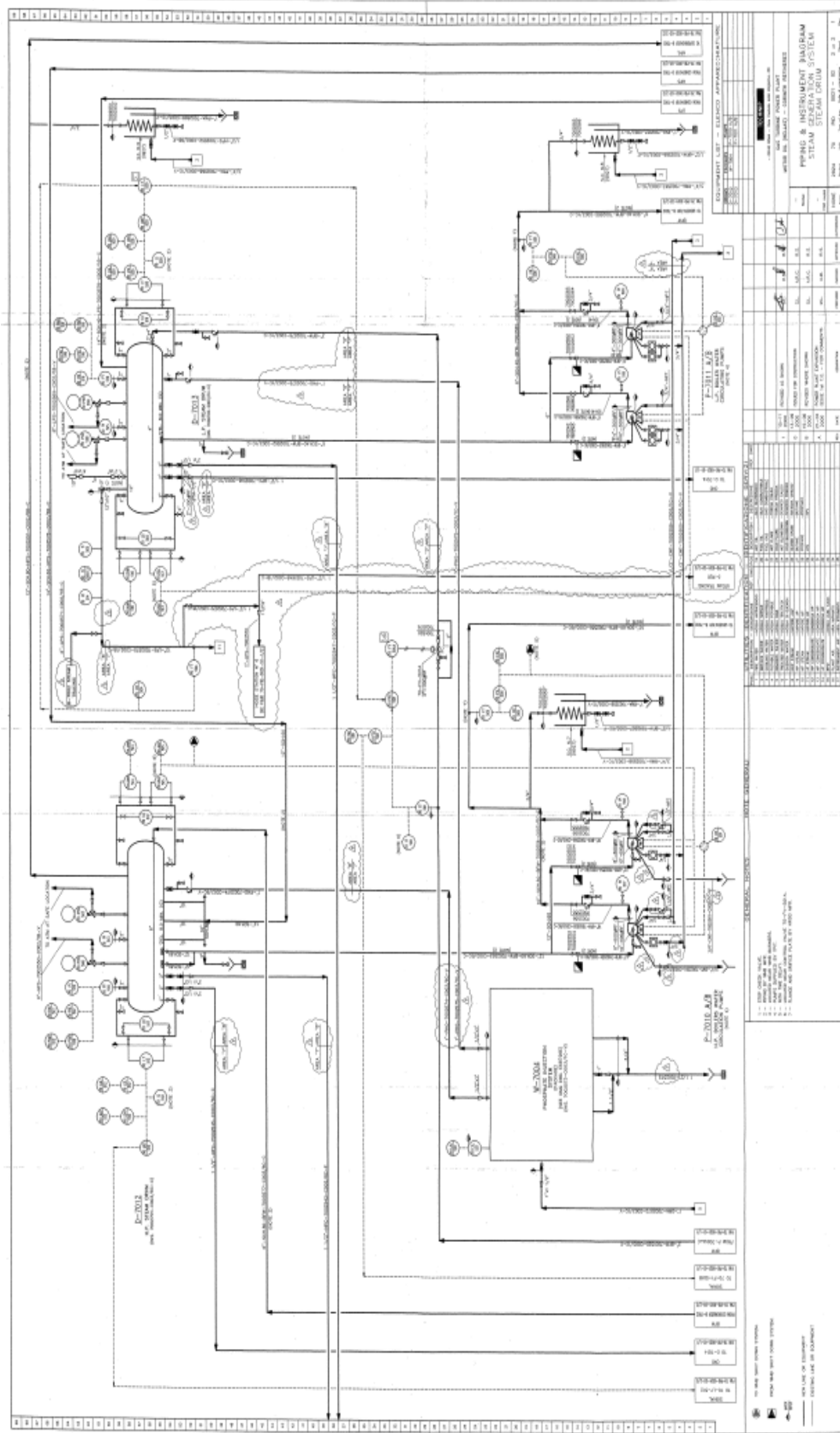
Στην περίπτωση που μία γεννήτρια πρέπει να τεθεί εκτός για λόγους συντήρησης, τότε με την χρήση ενός damper απομονώνεται η γεννήτρια από τον λέβητα, οι καυστήρες του οποίου εξακολουθούν να λειτουργούν σε συνδυασμού με τα απαέρια της άλλης γεννήτριας. Ομοίως όταν ο λέβητας σταματήσει λόγω βλάβης, το damper των γεννητριών γυρίζει στην ατμόσφαιρα και οι γεννήτριες εξακολουθούν να παράγουν ρεύμα με τα απαέρια τους να φεύγουν προς την ατμόσφαιρα. Η διάταξη

του λέβητα εικονίζεται παρακάτω. Στην λειτουργία του λέβητα χρησιμοποιούνται εκτός των άλλων και τέσσερις φυγοκεντρικές αντλίες ανά ζεύγη, που στόχο έχουν την κυκλοφορία του νερού στα δοχεία συγκέντρωσης και πίσω, για να γίνει η ατμοποίηση. Με την είσοδό του το απιονισμένο νερό στο δοχείο του απαερωτή, κυκλοφορεί με μία αντλία P-7003C στο κύκλωμα του economizer. Από το δοχείο του economizer φεύγει και πηγαίνει στο κάτω μέρος του δοχείου D-7012, για την περίπτωση του ενός από τους δύο λέβητες. Στη συνέχεια φεύγει από το κάτω μέρος του δοχείου μέσω της αντλίας P-7010 και πηγαίνει στο κύκλωμα του high pressure generator. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, νερό και ατμός φεύγουν από το high pressure generator και πηγαίνουν στο μέσο πάλι του δοχείου D-7012, όπου το μεν νερό πηγαίνει στο κάτω μέρος για ανακυκλοφορία, ο δε ατμός από το πάνω μέρος πηγαίνει στον superheater του λέβητα και φεύγει πλέον από αυτόν σαν ατμός υπέρθερμος στους 420 βαθμούς κελσίου για τις ανάγκες του διυλιστηρίου.

Από τον απαερωτή τώρα μέσω της αντλίας P-7004, φεύγει νερό και πηγαίνει στο κάτω μέρος του δοχείου D-7013. Από το κάτω μέρος του δοχείου και μέσω της αντλίας P-7011, το νερό πηγαίνει στο πάνω μέρος του λέβητα και στην είσοδο της low pressure generator, για να φύγει και να πάει στο μέσον του ίδιου δοχείου. Στη συνέχεια διαχωρίζεται σε ατμό και νερό. Ο ατμός από το πάνω μέρος του δοχείου πάει στο διυλιστήριο και ένα μέρος στον απαερωτή, ενώ το νερό από το κάτω μέρος του δοχείου ανακυκλοφορεί μέσω της αντλίας P – 7011. Τα παραπάνω εικονίζονται πιο απλοποιημένα στο παρακάτω σχήμα. Τα δοχεία που αναφέρθηκαν μαζί με τις αντλίες, φαίνονται κι αυτά στα σχήματα παρακάτω.







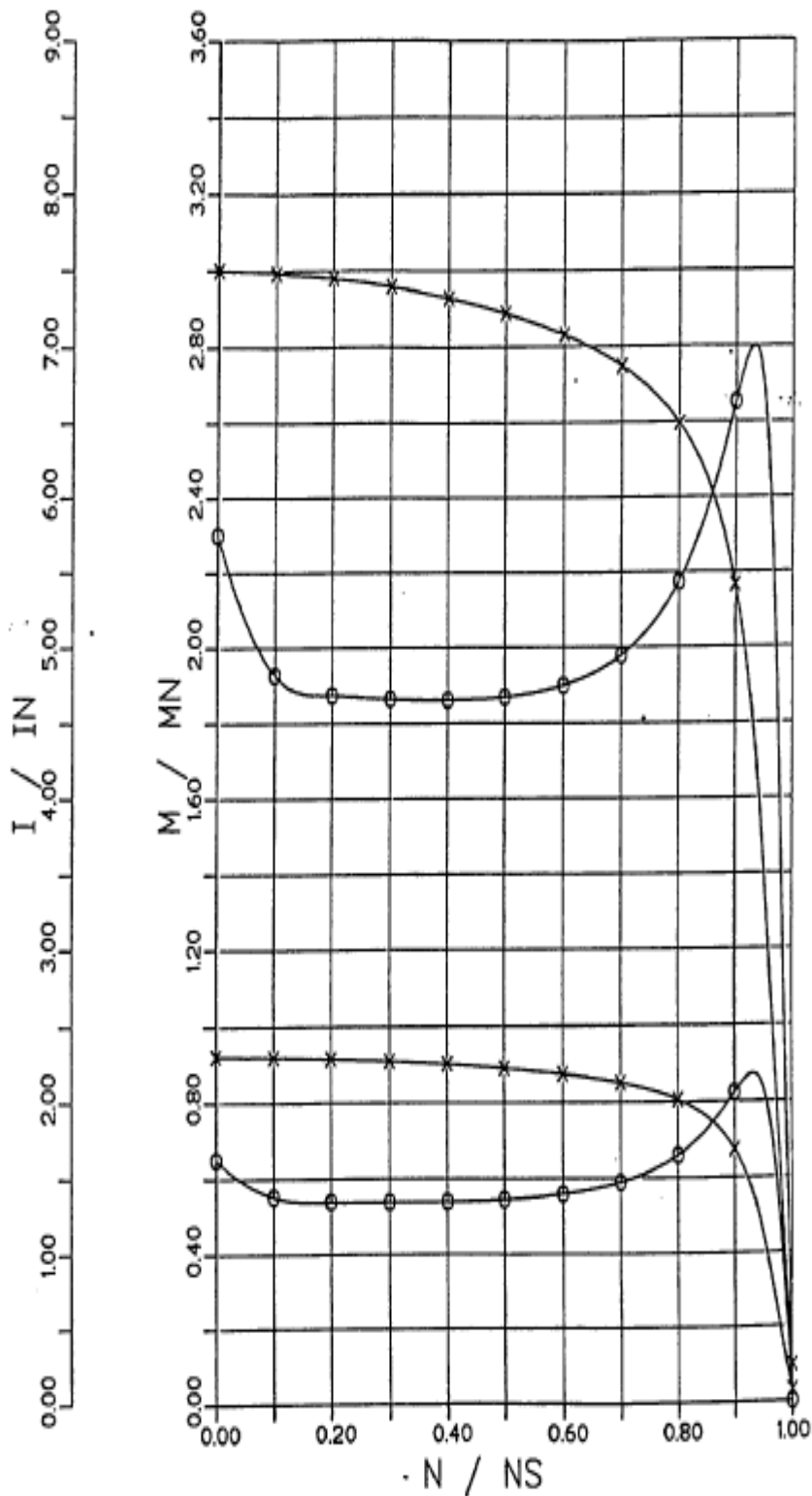
Στο κάτω μέρος του λέβητα και πριν από τους καυστήρες εισάγονται τα απαέρια των αεριοστροβίλων με κοινό αγωγό των δύο γεννητριών. Λόγω τη αυξημένης περιεκτικότητας σε οξυγόνο, τα απαέρια διέρχονται από τους καυστήρες του λέβητα και καίγονται περαιτέρω παράγοντας επιπλέον θερμότητα.

Οι αντλίες 7010 και 7011 έχουν εγκατασταθεί από τον κατασκευαστή σε ζεύγη, όπως αναφέρθηκε και είναι 7010 A/B και 7011 A/B, για λόγους εφεδρείας. Έτσι, αν κάτι συμβεί στην αντλία που εργάζεται, αναλαμβάνει με τη σειρά της η άλλη αντλία, χειροκίνητα, κατόπιν επέμβασης του χειριστή. Η κάθε αντλία οδηγείται από ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα χαμηλής τάσης, βραχυκυκλωμένου δρομέα και το κάθε ζεύγος αντλιών οδηγείται σε κοινό αγωγό με βάνες κατάθλιψης που ανοιγοκλείνει χειροκίνητα ανάλογα με την πίεση και την παροχή που χρειάζεται.

Οι αντλίες και οι κινητήρες ήταν εξαρχής υπερδιαστασιοποιημένες, ώστε να καλύψουν οποιοσδήποτε ανάγκες προέκυπταν, οπότε οι βάνες κατάθλιψης ήταν συνεχώς στραγγαλισμένες, σχεδόν κλειστές. Μάλιστα υπήρχαν και βάνες by-pass σε κάθε αντλία, οι οποίες άνοιγαν αναλόγως, μεταφέροντας νερό από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση περιορίζοντας την παροχή της αντλίας. Παρακάτω επισυνάπτονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών και των κινητήρων για τις μονάδες P-7010A/B και P-7011A/B. Πρώτα εικονίζονται οι πίνακες και οι καμπύλες για τους κινητήρες των P-7011A/B και στη συνέχεια οι πίνακες και οι καμπύλες για τις αντλίες. Στη συνέχεια με την ίδια σειρά εικονίζονται οι πίνακες και οι καμπύλες των P-7010A/B, αντίστοιχα.

		CLIENT: MOTOR OIL HELLAS CORINTH	
FOR	DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE INDUCTION MOTOR	PROJECT NO. -UNIT	TYPE OF DOCUMENT
		2024	SP
Item:	PM- 7011 A1B	Quantity: 2	MR: 202400MR0910.01
GENERAL REQUIREMENTS			
3	Rated Output/ Poles number	kW: 55	N° 2
4	Voltage/Frequency/Phases	V: 380 +/-10% delta	Hz: 50 +/-2% N°: 3
5	Construction Arrangement	IM B3	
6	Enclosure Type/Protection Degree	EX-NA II T3 TEFC	IP: 55
7	Neutral Status of power supply/PE conductor	Earthed	For rated power below 7.5 kW
8	Area Classification/Temperature Class	Zone 2 as per IEC	T3
9	Construction Codes	1972 00 RE 1691.01 IEC	
10	Installation/Ambient Type	Outdoor	Corrosive
11	Ambient Design Temperature	Max (°C): +40	Min(°C): -1,8
12	Altitude/Relative Humidity	Mt (a.s.l): 40	70 % AT 35 °C
13	Starting Method	DOL	
14	Starting Sequence/Duty Type	as per IEC	S1
15	Min. Insulation Level/Max Temperature Rise	Class F	100 K
16	Direction of Rotation	Bidirectional	
17	Position of Main Terminal Box	On the top (cable entrance on the right side looking at D-end)	
18	Terminal Box Threaded Size	NPT 2"	
19	Cable Type and Size		

23	MOTOR MANUFACTURER'S DATA			
24	Manufacturer/Type/Frame Size	Schorch	KA7250M-AA01N-Z	250 M
25	Winding Connection/Terminals	Delta	N°: 6	
26	Insulation Class	F / F		
27	Temperature Rise	Rotor: °C	Stator: °C	
28	Full Load Speed	RPM: 2960		
29	Full Load Current/Locked Rotor Current	A: 82	LRC: 680	%
30	Starting Time (% of Voltage)	100%: Sec	80%: Sec	Sec
31	Allowable Locked Rotor Time	Sec (Cold)	Sec (Hot)	
32	Thermal Time Constant	40 min.		
33	Efficiency	4/4 93,50%	3/4 94,20%	2/4 93,50%
34	Power Factor	4/4 0,89	3/4 0,86	2/4 0,8
35	Locked Rotor Power Factor	0,15		
36	Rated Torque	N.m 145		
37	Locked/Pull Up/Breakdown Torque	L 220% PU	>=150% BD	280%
38	Rotor Motor Inertia (WR2)	Kg.m2 0,116		
39	Bearing Type(Drive End/Non Drive End)	DE: 6313 C3	NDE: 6313 C3	
40	Lubrication Type/Interval	Grease	3000h/24gr.	
41	Outline Drawing	2050064 BALANCING WITH HALF KEY		
42	Motor Weight	kg: 330		
43	Finish Color	RAL 7035		
44	Noise Level at 1 mt - 80 dB(A) max.	dB(A): LPA 73 + 3		
45	MOTOR-No.:	27589002		
46	DRIVEN MACHINE DATA			
47	Manufacturer/Machine Type			
48	Coupling Type			
49	Trust Up/Down	Up	Kg/Down	Kg

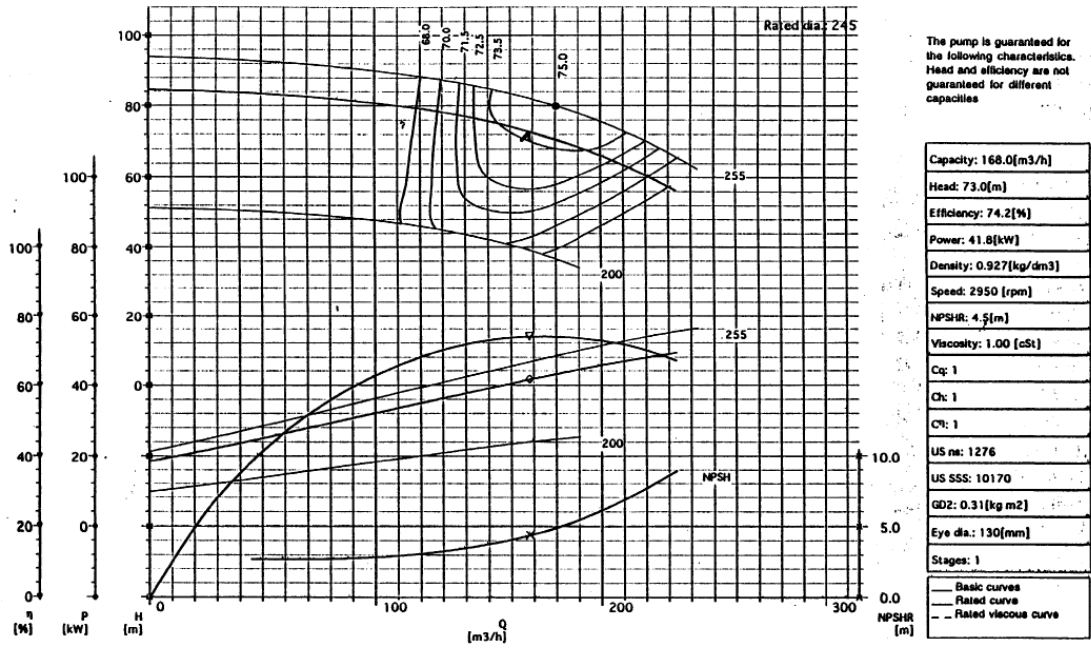


x) Strom (Motor) - current - courant
 o) Moment (Motor) - torque - couple

Direkte Einschaltung
 Y - Einschaltung

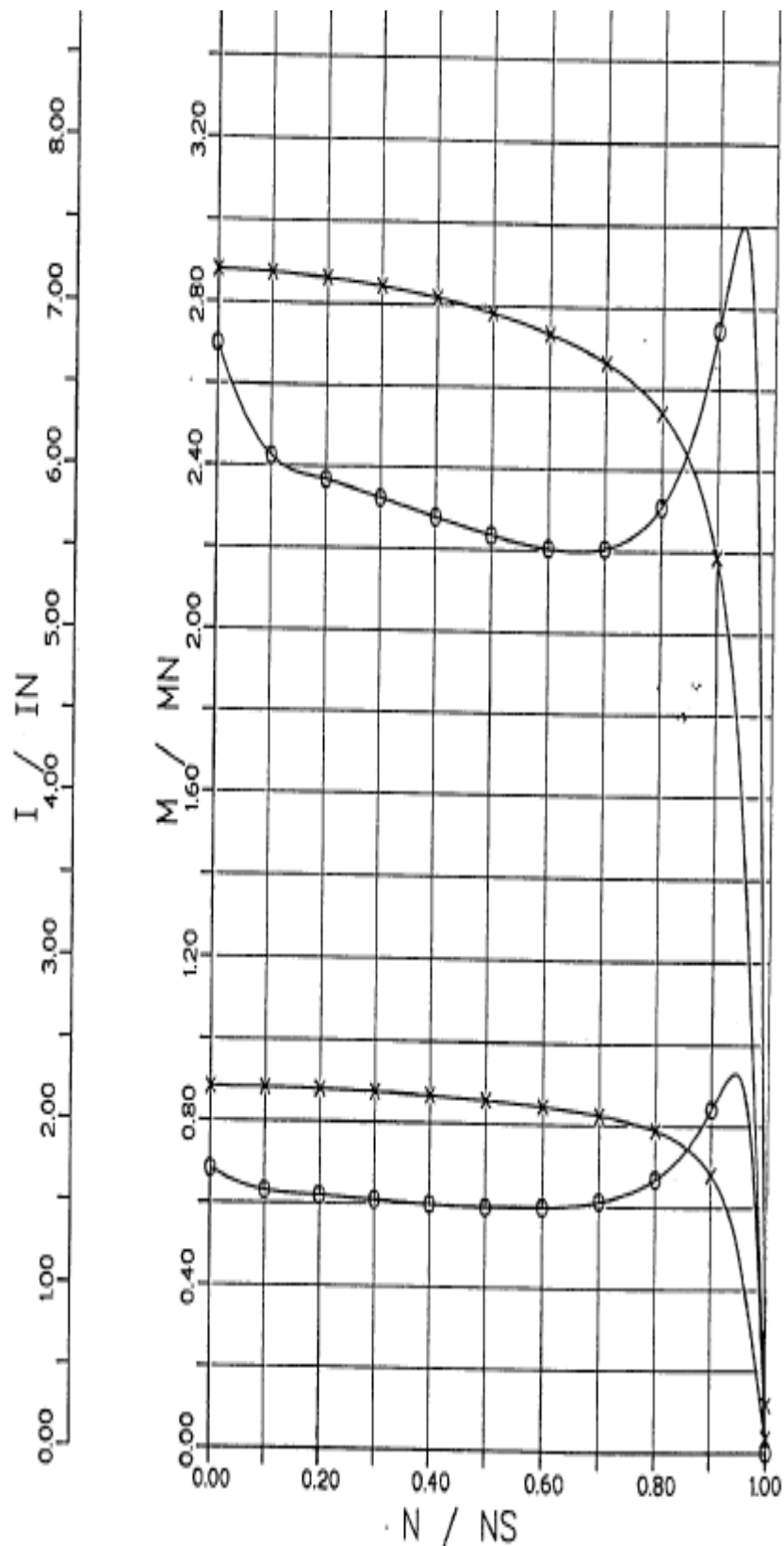
DATA SHEET FOR CENTRIFUGAL PUMP										Client MOTOR OIL (HELLAS)					
Project No. Unit Doc. Type Acc. class & Progr. Rev. Sheet										2024 70 SP 0910 06 1 1 of 1					
1	Service	L.P. BOILER WATER CIRCULATION PUMPS				No. Req.d	2				Item	P-7011 A/B			
2	Main/Driver	1/EL. MOTOR		Spare/Driver	1/ELECTRIC MOTOR		MR	0910.01							
3	Pump MFR	POMPE GABBIONETA		Size and Type	R 250/100 GM2		<input checked="" type="checkbox"/>	Horiz.	<input type="checkbox"/>	Vert.					
OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP										PERFORMANCE					
5	Liquid	BOILER FEED WATER		m ³ /h at P.T. Norm.	106	Rated	168			Proposal Curve No.	R250100GM2B				
6				Disch. Press.	kg/cm ² g					NPSH Req.d(water)	m 4,5				
7	P.T.	°C 139		Suct. Press.	kg/cm ² g		Max 5.5	Rated	3,7			No. of Stages	1 rpm 2950		
8	Sp. Gr. at P.T.	0.927		Diff. Press.	kg/cm ²		6,6			Des.Eff. %	74,2 Rated Pow. kW 41,8				
9	Vap. Pr. at P.T.	kg/cm ² a 4,0		Diff. Head	m		72,6			Max. Pow. Rated Imp.	kW 49,2				
10	Visc at P.T	cP 0.17		NPSH Avail.	m		6			Max. Head Rated Imp.	m 84,5				
11	Corr./Eros. caused by											Min. Continuous Flow	m ³ /h 45		
CONSTRUCTION AND MATERIALS										Rotation Facing Coupling End				CW	
13	Casing Mounting	<input checked="" type="checkbox"/> Centerline		<input type="checkbox"/> Food	<input type="checkbox"/> Bracket					Cooling Water	YES API Plan K				
14		<input type="checkbox"/> Vertical		<input type="checkbox"/> In Line					Bearing	YES					
15	Split	<input type="checkbox"/> Axial		<input checked="" type="checkbox"/> Radial					Stuff. Box						
16	Type	<input type="checkbox"/> Single Volute		<input checked="" type="checkbox"/> Double Volute		<input type="checkbox"/> Diffuser		<input type="checkbox"/> Staggered		Pedestal					
17	Tapped Openings	<input checked="" type="checkbox"/> Vent		<input checked="" type="checkbox"/> Drain					Gland						
18	NOZZLES	Size	Rating	Facing	Position			Total Water Req.d m ³ /h 1,3							
19	Suction	6"		300		RF		END			Packing Cooling				
20	Discharge	4"		300		RF		TOP			Flushing Plan API PLAN 23/61				
21	Impeller Diam mm	Rated 245	Max. 255	Min. 200	Type CLOSED										
22	Impeller:	<input checked="" type="checkbox"/> Overhung		<input type="checkbox"/> Between Bearings		<input checked="" type="checkbox"/> Single Suction		<input type="checkbox"/> Double Suction		Aux. Piping. by MFR FOR COOLING AND FLUSHING					
23	Bearing:	Radial BALLS		Thrust BALLS		Lubr. OIL									
24	Coupling:	MFR.Type METASTREAM TSKS 0033				Ext. Seal Flush Fluid:									
25	Spacer	YES		Guard YES		MTD by PUMP MFR									
26	<input type="checkbox"/> Packing	: MFR. Type		Size mm		No.of Rings									
27	<input checked="" type="checkbox"/> Mech. Seal	: MFR. Type J. CRANE 8B1 / GUI51		Class Code BSTXN											
28	Vert. Shaft Thrust:	kgf Max.		Norm.		Stuffing Box Pressure kg/cm ² g									
29	Casing min. Thick/Corr. Allow	mm 15 / 3		Base Plate YES		Starting Torque Curve TC 81007									

MATERIALS : API CLASS S-1										Shop Test	Required	Observed	Witnessed	
31	Casing	A 216 WCB		Wear Parts Cas.		A 182 F6A1 Hd		Running Perf.		YES		YES		
32	Impeller	A 487 CA6NM		Wear Parts Imp.		A 182 F6A1 Hd		Disassembly		YES		YES		
33	Inner Case Parts			Shaft		A 276 410T		NPSH						
34	Sleeve (Packed)			Cover		A 516 70								
35	Sleeve (Seal)	A 276 Tp 316						Hydrost. kg/cm ² g		30		YES		
AUXILIARY PIPING										Case MAWP kg/cm ² g		20 at °C 152		
37	Flushing	<input type="checkbox"/> Tubing		<input checked="" type="checkbox"/> Pipe		<input type="checkbox"/> Screwed		<input checked="" type="checkbox"/> Flanged		<input type="checkbox"/> Seal Weld		Des.: Press. kg/cm ² g 16 Temp. °C 152		
38		<input type="checkbox"/> Carb. Steel		<input checked="" type="checkbox"/> Stainl. Steel		<input type="checkbox"/> Other				Weights: kg Pump 285 Base 373				
39	Cool. Water	<input type="checkbox"/> Tubing		<input checked="" type="checkbox"/> Pipe		<input checked="" type="checkbox"/> Material CARBON STEEL		Motor 330 Turbine		Total 988				
40	MOTOR DRIVER					TURBINE DRIVER BY					MFR FINAL DATA (AS BUILT)			
41	Item	PM. 7011 A/B MTD b PUMP VDR		Item		MTD by		Actual Impeller Diam.		mm 245				
42	1 kW	55 rpm 2960 Frame B3		1 kW		rpm Mat'l		Test Curve No.		148562				
43	1 MFR	SCHORCH		MFR, Type				Outline dwg No.		37770.47				
44	1 Type	KA7 250M-A		Inlet Steam		°C		Pump Sect. dwg No.		37590.00				
45	1 Enc.	IP55 Insul. F T. Rise B		Exhaust		kg/cm ² g Cool.Wat. m ³ /h		Seal Dim dwg No.		1/68945				
46	1 Volt/Phase/Cycle	380/3/50		Steam Rate		kg/kW-h		Pump Serial No.		B1007 A/B				
47	Bearings	BALLS Lube GREASE		Bearings		Lube		Wr Clearance Diam.		mm 0,52				
48	1 Full Load Amps	82		NOZZLES		Size Rating Facing Position		(Mech. Seal) (Packing) Shipped:						
49				Inlet				<input checked="" type="checkbox"/> Installed		<input type="checkbox"/> Boxed Separately				
50				Exhaust										
51	NOTES:													
52	(1) WITNESSED TEST ONLY FOR ONE PUMP ONLY													
53														
54														
55														
PA	PROCESS ISSUE	20/04/00	N.R.	R.S.	0	ISSUED AS BUILT	20/12/00	CA	RC	RC				
Rev	Description	Date	Prd	Ckd	App	Rev	Description	Date	Prd	Ckd	App			



DATA SHEET FOR LOW VOLTAGE INDUCTION MOTOR		CLIENT: MOTOR OIL HELLAS CORINTH	TYPE OF DOCUMENT: SP	ACCOUNT CLASS & PROGRESSIVE: 1691	REV SHEET: 1 of 1
Item: PH - 7010 AIB	Quantity: 2	MR: 202400MR0910.01			
GENERAL REQUIREMENTS					
3 Rated Output/ Poles number	kW: 132	N°: 4			
4 Voltage/Frequency/Phases	V: 380 +/-10% delta	Hz: 50 +/-2%	N°: 3		
5 Construction Arrangement	IM	B3			
6 Enclosure Type/Protection Degree	EX-NA II T3 TEFC	IP: 55			
7 Neutral Status of power supply/PE conductor	Earthed	For rated power below 7.5 kW			
8 Area Classification/Temperature Class	Zone 2 as per IEC	T3			
9 Construction Codes	1972 00 RE 1691.01	IEC			
10 Installation/Ambient Type	Outdoor	Corrosive			
11 Ambient Design Temperature	Max (°C): +40	Min(°C): -1,8			
12 Altitude/Relative Humidity	Mt (a.s.l): 40	70 % AT 35 °C			
13 Starting Method	DOL				
14 Starting Sequence/Duty Type	as per IEC	S1			
15 Min. Insulation Level/Max Temperature Rise	Class F	100 K			
16 Direction of Rotation	Bidirectional				
17 Position of Main Terminal Box	On the top (cable entrance on the right side looking at D-end)				
18 Terminal Box Threaded Size	NPT 3"				
19 Cable Type and Size					

23 MOTOR MANUFACTURER'S DATA					
24 Manufacturer/Type/Frame Size	Schorch	KA7315M-BA01N-Z	315M		
25 Winding Connection/Terminals	Delta	N°: 6			
26 Insulation Class	F / F				
27 Temperature Rise	Rotor: °C	Stator: °C			
28 Full Load Speed	RPM: 1485				
29 Full Load Current/Locked Rotor Current	A: 230	LRC: 750	%		
30 Starting Time (% of Voltage)	100%: Sec	80%: Sec			
31 Allowable Locked Rotor Time	Sec (Cold)	Sec (Hot)			
32 Thermal Time Constant	40 min.				
33 Efficiency	4/4	95,60%	3/4	95,60%	2/4 95,00%
34 Power Factor	4/4	0,92	3/4	0,91	2/4 0,87
35 Locked Rotor Power Factor	0,17				
36 Rated Torque	N.m	423			
37 Locked/Pull Up/Breakdown Torque	L	200% PU	>=150%	BD	280%
38 Rotor Motor Inertia (WR2)	Kg.m2	1,06			
39 Bearing Type (Drive End/Non Drive End)	DE: 6314 C3	NDE: 6314 C3			
40 Lubrication Type/Interval	Grease	2400h/26gr.			
41 Outline Drawing	20.90063 BALANCING WITH HALF KEY				
42 Motor Weight	kg:	910			
43 Finish Color	RAL 7035				
44 Noise Level at 1 mt - 80 dB(A) max.	dB(A):	LPA 76 + 3			
45 MOTOR-No.:	27589001				
46	DRIVEN MACHINE DATA				

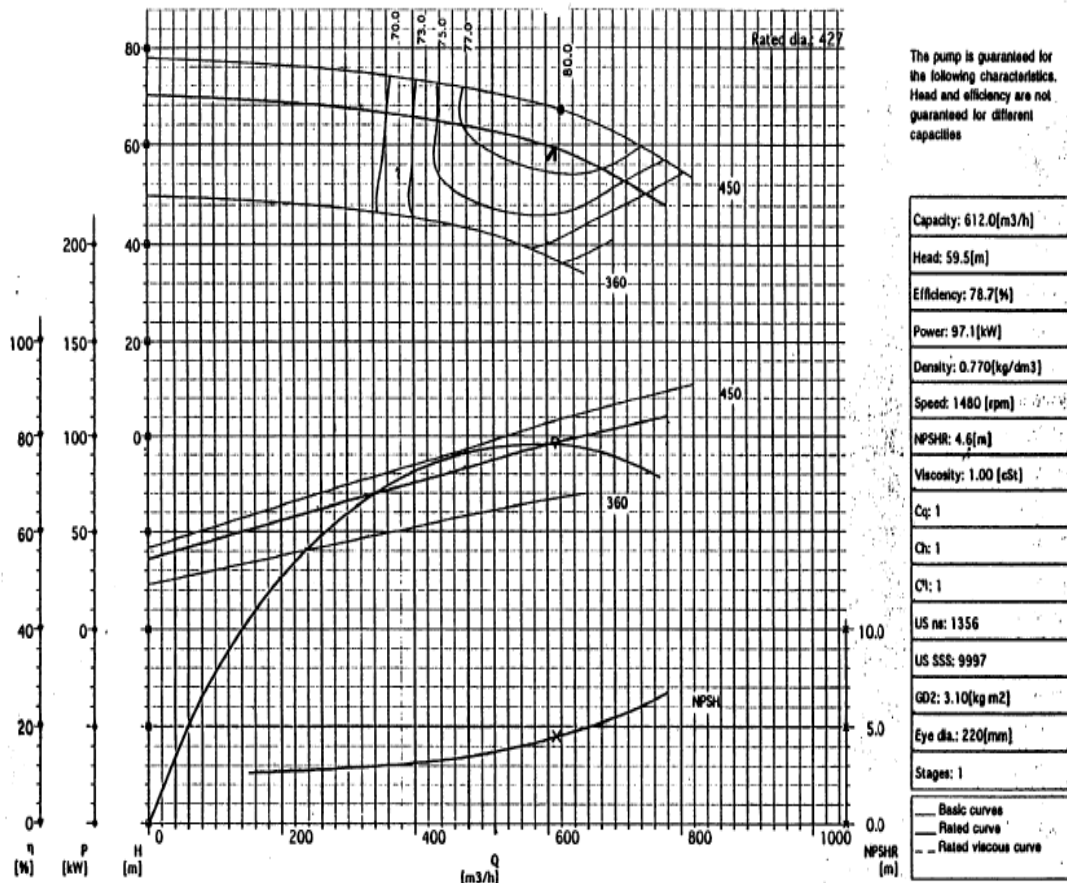


X) Strom (Motor) - current - courant
 O) Moment (Motor) - torque - couple

Direkte Einschaltung
 Y - Einschaltung

DATA SHEET FOR				Project No.	Unit	Doc. Type	Acc. class & Progr.	Rev.	Sheet	
CENTRIFUGAL PUMP				2024	70	SP	0910 05	1	1 of 1	
1	Service	H.P. BOILER WATER CIRCULATION PUMPS		No. Req.d	2		Item	P-7010 A/B		
2	Main/Driver	1/EL. MOTOR	Spare/Driver	1/ELECTRIC MOTOR		MR	0910.01			
3	Pump MFR	POMPE GABBIONETA	Size and Type	SA 450 G		<input checked="" type="checkbox"/> Horiz.	<input type="checkbox"/> Vert.	<input type="checkbox"/>		
OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP				PERFORMANCE						
5	Liquid	BOILER FEED WATER		m ³ /h at P.T. Norm.	426	Rated	612			
6				Disch. Press.	kg/cm ² g		Proposal Curve No.	SA450200GM3C		
7	P.T.	°C	264	Suct. Press.	kg/cm ² g		NPSH Req.d(water)	m 4,6		
8	Sp. Gr. at P.T.	0.77		Diff. Press.	kg/cm ²		No. of Stages	1 rpm 1480		
9	Vap. Pr. at P.T.	kg/cm ² a	52	Diff. Head	m		Des. Eff. %	78,7 Rated Pow. kW 98,3		
10	Visc at P.T	cP	0.2	NPSH Avail.	m		Max. Pow. Rated Imp.	kW 111,2		
11	Corr./Eros. caused by						Max. Head Rated Imp.	m 70		
12	CONSTRUCTION AND MATERIALS				Rotation Facing Coupling End					
13	Casing	Mounting	<input checked="" type="checkbox"/> Centerline	<input type="checkbox"/> Food	<input type="checkbox"/> Bracket		Cooling Water	YES API Plan L		
14			<input type="checkbox"/> Vertical	<input type="checkbox"/> In Line			Bearing	YES		
15		Split	<input type="checkbox"/> Axial	<input checked="" type="checkbox"/> Radial			Stuff. Box	YES		
16		Type	<input type="checkbox"/> Single Volute	<input checked="" type="checkbox"/> Double Volute		<input type="checkbox"/> Diffuser	<input type="checkbox"/> Staggered	Pedestal		
17		Tapped Openings	<input checked="" type="checkbox"/> Vent	<input checked="" type="checkbox"/> Drain				Gland		
18	NOZZLES	Size	Rating	Facing	Position		Total Water Req.d	m ³ /h 2,4		
19	Suction	10"	600	RF	END		Packing Cooling			
20	Discharge	8"	600	RF	TOP		Flushing Plan	API PLAN 23/62		
21	Impeller Diam	mm	Rated 427	Max. 450	Min. 360	Type	CLOSED			
22	Impeller:	<input checked="" type="checkbox"/> Overhung	<input type="checkbox"/> Between Bearings	<input checked="" type="checkbox"/> Single Suction		<input type="checkbox"/> Double Suction	Aux. Piping. by MFR FOR COOLING AND			
23	Bearing:	Radial BALLS	Thrust BALLS	Lubr. OIL		FLUSHING				
24	Coupling:	MFR.Type	METASTREAM TSKS 0135			Ext. Seal Flush Fluid:				
25	Spacer	YES	Guard	YES		MTD by	PUMP MFR			
26	<input type="checkbox"/> Packing	: MFR. Type		Size	mm	No. of Rings				
27	<input checked="" type="checkbox"/> Mech. Seal	: MFR. Type		J. CRANE RREP / A6BY		Class Code	BSAXN			

MATERIALS : API CLASS S-1				Shop Test	Required	Observed	Witnessed	
31	Casing	A 487 CA6NM	Wear Parts Cas.	A 473 420 Hd	Running Perf.	YES	YES	
32	Impeller	A 487 CA6NM	Wear Parts Imp.	A 473 420 Hd	Disassembly	YES	YES	
33	Inner Case Parts		Shaft	A 276 Tp 420	NPSH			
34	Sleeve (Packed)		Cover	A 487 CA6NM				
35	Sleeve (Seal)	A 276 Tp 316			Hydrost. kg/cm ² g	105	YES	
AUXILIARY PIPING				Case MAWP kg/cm ² g 70 at °C 268				
37	Flushing	<input type="checkbox"/> Tubing	<input checked="" type="checkbox"/> Pipe	<input type="checkbox"/> Screwed	<input checked="" type="checkbox"/> Flanged	<input type="checkbox"/> Seal Weld	Des.: Press. kg/cm ² g 65 Temp. °C 268	
38		<input type="checkbox"/> Carb. Steel	<input checked="" type="checkbox"/> Stainl. Steel	<input type="checkbox"/> Other			Weights: kg Pump 600 Base 400	
39	Cool. Water	<input type="checkbox"/> Tubing	<input checked="" type="checkbox"/> Pipe	<input checked="" type="checkbox"/> Material CARBON STEEL			Motor 910 Turbine	
40	MOTOR DRIVER		TURBINE DRIVER BY		Total 1910			
41	Item	PM. 7010 A/B	MTD b	PUMP VDR	Item	MTD by		
42	1	kW 132	rpm 1485	Frame B3	kW	rpm	Mat'l	
43	1	MFR	SCHORCH		MFR. Type	MFR FINAL DATA (AS BUILT)		
44	1	Type	KA7 315M-B		Inlet Steam	°C		
45	1	Enc.	IP55	Insul. F	T. Rise	B		
46	1	Volt/Phase/Cycle	380/3/50		Exhaust	kg/cm ² g	Cool. Wat. m ³ /h	
47	1	Bearings	BALLS		Lube	GREASE		
48	1	Full Load Amps	230		NOZZLES	Size	Rating	
49					Inlet	Facing	Position	
50					Exhaust			
51	NOTES:							
52	(1) RATED AND MAX POWER INCLUDE 1,2 KW DUE TO HIGH SUCTION PRESSURE							
53	(2) WITNESSED TEST ONLY FOR ONE PUMP ONLY							



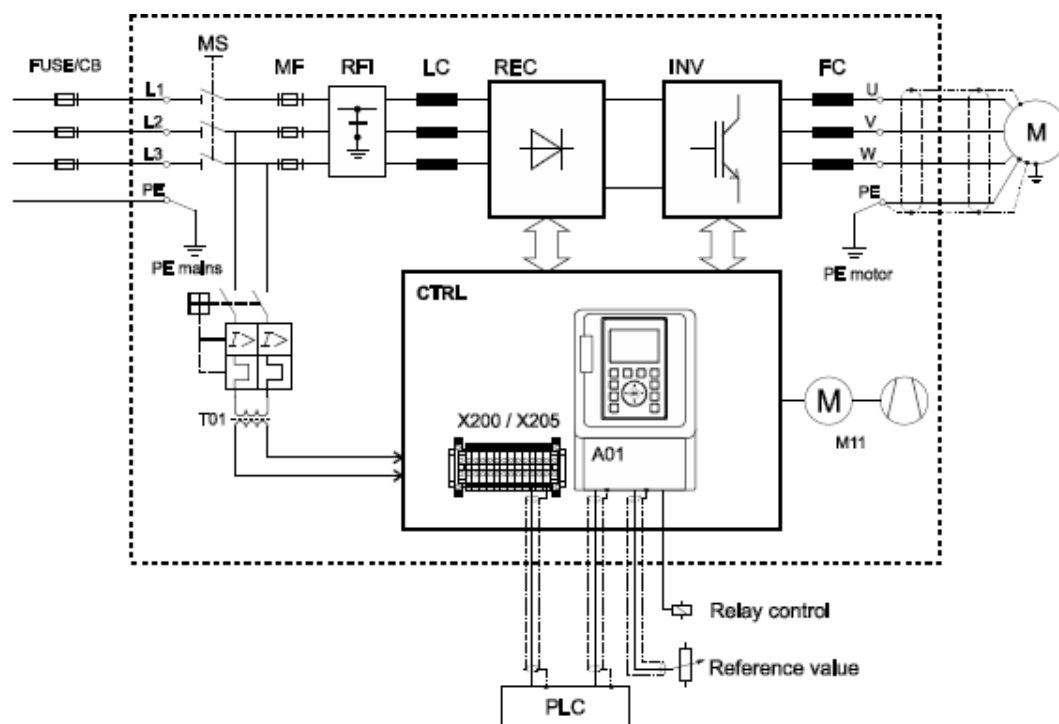
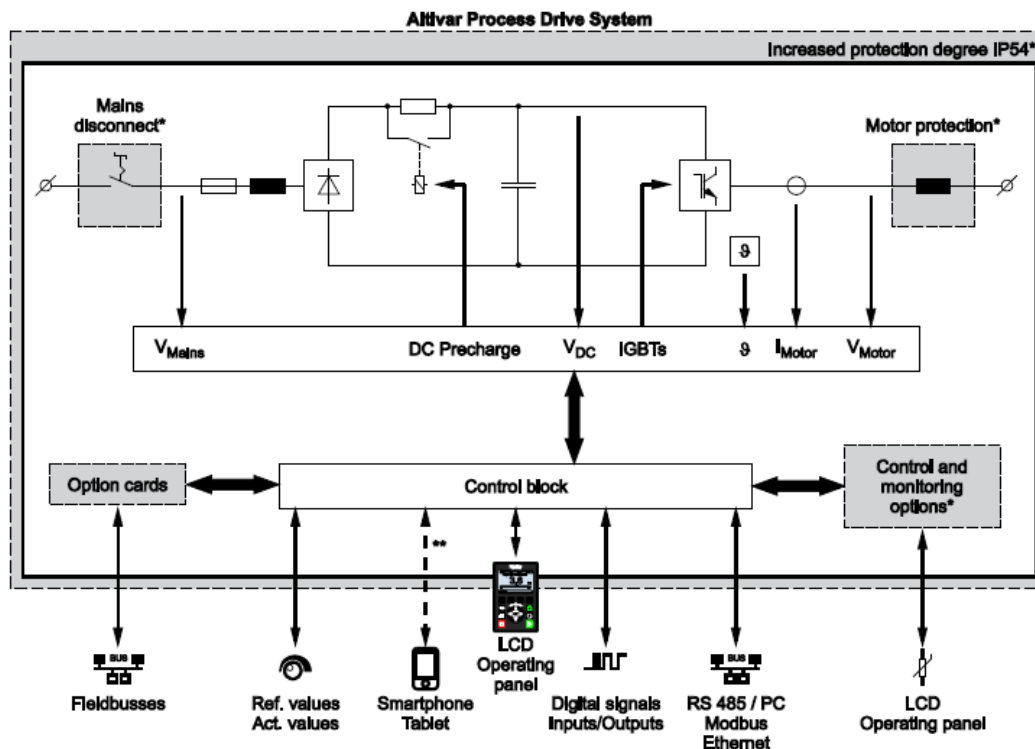
Μετά από προσεκτική μελέτη των καμπυλών των αντλιών και των κινητήρων, αποφασίστηκε η δοκιμαστική λειτουργία της μεγάλης αντλίας P-7010 με μετατροπέα συχνότητας, για να αποφασιστεί αν αξίζει ή όχι η μόνιμη τοποθέτηση του. Η λειτουργία των αντλιών σε ζεύγη εξυπηρέτησε κατά πολύ μια τέτοια εφαρμογή, μιας και η μία θα λειτουργούσε με μετατροπέα συχνότητας και η άλλη θα υπήρχε πλέον για λόγους εφεδρείας σε περιπτώσεις βλάβης ή συντήρησης της άλλης. Πάρθηκαν προσφορές για μετατροπείς συχνότητας από τρεις μεγάλες εταιρείες στον χώρο, την ABB, τη Siemens και τη Schneider. Ζητήθηκε προσφορά για μετατροπέα συχνότητας όσο το δυνατό compact και της τάξεως των 160KVA. Αυτό έγινε ώστε από τη στιγμή που ο κινητήρας ήταν 132KW, να μην εργάζεται ο μετατροπέας σε μεγάλο φορτίο ώστε να μην καταπονείται ιδιαίτερα και να μην υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα ως προς τον χρόνο ζωής του. Άλλωστε σύμφωνα με τους κατασκευαστές θα πρέπει ο μετατροπέας πάντοτε, να είναι τουλάχιστον 30% πάνω από τα ονομαστικά

χαρακτηριστικά του κινητήρα για λόγους μικρότερης καταπόνησης του κυκλώματος ισχύος του. Οι τιμές της Schneider για τη σειρά ATV900 ήταν κατά πολύ μικρότερες από των άλλων εταιρειών, παρέχοντας μάλιστα και Ζετή εγγύηση καλής λειτουργίας. Η εικόνα του συγκεκριμένου μοντέλου φαίνεται παρακάτω.



Ο συγκεκριμένος μετατροπέας κάνει PWM διαμόρφωση, που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και εκτός από αυτό μπορεί να παραμετροποιηθεί ανάλογα με την κάθε εφαρμογή. Έτσι διαθέτει σειτ παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, ή τον τύπο του ανεμιστήρα, ή ανάλογα με το αν υπάρχει αναβατόριο, ή κάποια μεταφορική ταινία. Επιλέγοντας ο χρήστης φυγοκεντρική αντλία, αυτόματα ο μετατροπέας του ζητά να εισάγει τα ονομαστικά στοιχεία του κινητήρα. Ο τρόπος

ελέγχου είναι με καμπύλη V/f και χρήση του μαθηματικού μοντέλου, χωρίς χρήση κάποιας παλμογεννήτριας στροφών για feedback. Το κύκλωμα του μετατροπέα εικονίζεται απλοποιημένο παρακάτω.



Ο μετατροπέας εκτός από το κύκλωμα ελέγχου, διαθέτει στην είσοδο RFI φίλτρο που αναλύσαμε λεπτομερώς σε άλλο κεφάλαιο και εκτός από τον ανορθωτή – rectifier και τον μετατροπέα – inverter εξόδου, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης φίλτρου στην έξοδο προς τον κινητήρα για μεγαλύτερη εξομάλυνση, για εξειδικευμένες εφαρμογές. Ο μετατροπέας είναι ιδιαίτερα εξελιγμένος, μιας και εκτός από τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας που διαθέτει για επικοινωνία με τον χρήστη, ή άλλους μετατροπείς, διαθέτει και την δυνατότητα επικοινωνίας με smartphone, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση προσωρινή στις αντλίες P-7010A και P – 7011A για τρεις ολόκληρες μέρες. Η καταγραφή των ηλεκτρικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε με το καταγραφικό Hioki Power Quality Analyzer 3196 που εικονίζεται παρακάτω με χρήση flash card 512MB για επέκταση της μνήμης καταγραφής και αφού διασταυρώθηκαν τα ηλεκτρικά στοιχεία με αυτά του μετατροπέα συχνότητας για επιβεβαίωση.





Στη συνέχεια αποσυνδέθηκε ο μετατροπέας συχνότητας από το κύκλωμα και πραγματοποιήθηκε εκ νέου καταγραφή των ηλεκτρικών στοιχείων των αντλιών για άλλες τρεις ημέρες. Κάτι τέτοιο έγινε πολύ εύκολα χωρίς διακοπή της παραγωγής, μιας και σε κάθε περίπτωση γινόταν μεταγωγή στις B – αντλίες που ήταν Stand By. Εννοείται ότι στην περίπτωση που έγινε σύνδεση και χρήση του μετατροπέα συχνότητας, οι βάνες τη κατάθλιψης έμειναν ανοιχτές 100% και οι βάνες του By – Pass εντελώς κλειστές. Η καταγραφή χωρίς τον μετατροπέα συχνότητας απέδειξε ότι οι αντλίες λειτουργούσαν συνεχώς στα ονομαστικά τους στοιχεία, δηλαδή για μεν την P-7010 η καταναλισκόμενη ισχύς ήταν στα 132KW στις 1485 στροφές και με συνημίτονο λειτουργίας 0,92, γεγονός που επιβάρυνε το δίκτυο διανομής με άεργα φορτία και τις γραμμές διανομής με επιπλέον θερμικό φορτίο. Μετά την εγκατάσταση του μετατροπέα συχνότητας η αντλία λειτουργούσε στα 41,3Hz, ήτοι 1227 στροφές καταναλώνοντας 141 A πολικό ρεύμα, ή 59KW. Φωτογραφίες της εγκατάστασης εικονίζονται παρακάτω.





Είναι προφανές ότι μετά από τις καταγραφές αυτές ακολούθησε μόνιμη εγκατάσταση του εξοπλισμού με ετήσιο οικονομικό όφελος τις 639.480 KWh, ή αλλιώς 31.974€, με κόστος 0,05€/KWh. Στο όφελος αυτό δεν περιλαμβάνεται το οικονομικό όφελος λόγω μειωμένης συντήρησης του εξοπλισμού και η μειωμένη καταπόνηση του δικτύου από την διόρθωση του συνημιτόνου από 0,92 σε 1,00.

Κατόπιν εγκατάστασης στην P-7010A, πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση στην P-7011A με τον ίδιο τρόπο. Ενώ λειτουργούσε στα ονομαστικά της στοιχεία με 55KW στις 2960ΣΑΛ και συνημίτονο 0,89, κατόπιν εγκατάστασης του μετατροπέα

λειτουργεί στα 31,4Hz, ήτοι 1859 ΣΑΛ καταναλώνοντας 47 A πολικού ρεύματος, ήτοι 13,4KW ενεργού ισχύος, όπως φαίνεται παρακάτω.



Και πάλι το ετήσιο οικονομικό όφελος αναλογιζόμενοι ότι αυτές οι αντλίες δε σταματούν ποτέ, ανέρχεται σε 364.416KWh ή 18.220€. Το ονομαστικό φορτίο του δεύτερου μετατροπέα είναι στα 75KVA για λόγους μικρότερης καταπόνησης του, ενώ του πρώτου μετατροπέα είναι 160KVA, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το συνημίτονο και σε αυτή την περίπτωση διορθώθηκε σε 1,00 και η οικονομικές αξίες για τον μεν πρώτο μετατροπέα ήταν τα 2.400€ και για τον δεύτερο τα 4.000€. Από

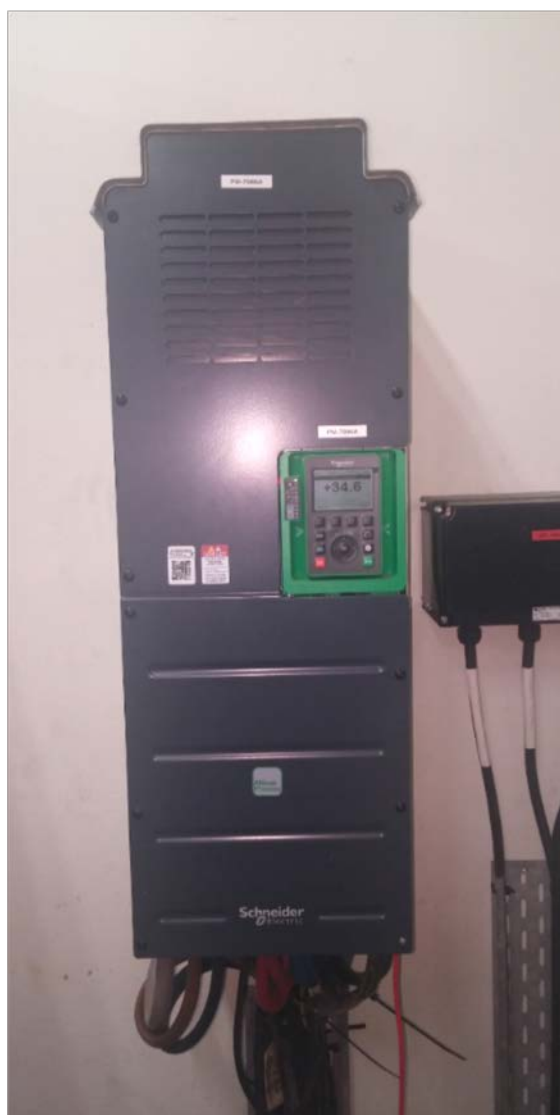
αυτό γίνεται αντιληπτό ότι ο χρόνος απόσβεσής της εγκατάστασης περιορίζεται σε μερικούς μήνες. Το display του δεύτερου μετατροπέα φαίνεται παρακάτω.



Ακριβώς η ίδια επένδυση πραγματοποιήθηκε και στον άλλο διπλό λέβητα του Power Plant, τον B-7001 και στις αντίστοιχες αντλίες P-7006 A και P-7007A. Οι φωτογραφίες της εγκατάστασης για τις αντλίες αυτές που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τις προηγούμενες, φαίνονται παρακάτω.









Οι αντλίες ελέγχονται πλέον απομακρυσμένα, από τον θάλαμο ελέγχου του διυλιστηρίου μέσω σημάτων αναφοράς 0-10V DC που μεταβάλλοντας τη συχνότητα, μεταβάλλουν τις στροφές του κινητήρα και άρα της αντίστοιχης αντλίας, ανάλογα με τις ανάγκες του λέβητα. Οι μετατροπείς συχνότητας εργάζονται δίχως προβλήματα εδώ και δυο χρόνια, γεγονός που σημαίνει ότι η απόσβεση έχει πραγματοποιηθεί εδώ και καιρό. Μετά από αυτή την κίνηση η εταιρεία προχώρησε σε εγκαταστάσεις μετατροπέων συχνότητας χαμηλής τάσης και σε άλλα σημεία του διυλιστηρίου που αφορούν φυγοκεντρικές αντλίες, αλλά και ανεμιστήρες ψύξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) [Bimal_K._Bose]_Power_Electronics_and_Variable_Fre(b-ok.org)
- 2) Variable Speed Pumping