



ווסתי מהירות לשיפור היעילות האנרגטית של צ'ילרים

מהנדס יוני מלאכי

הנהלה, משב הנדסת קירור ומיזוג אויר (1965) בל"מ, ישראל

תקציר

ההרצאה כוללת שני פרקים:

הפרק הראשון עוסק בוויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים בורגיים ומפרט את היתרונות המכניים, החשמליים והאנרגטיים המושגים כתוצאה מביטול מנגנון וויסות התפוקה המכני, ביטול מנגנון ההתנעה המדורגת, והחלפתם בווסת התדר.

הפרק השני עוסק בוויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים צנטריפוגליים ומתאר את האופטימיזציה המושגת בתפעול משולב של ווסת התדר עם מנגנון וויסות התפוקה המכני והמנגנון למניעת ההזדקרות הסיבובית המותקן בצנטריפוגה.

תוכן העניינים

1. וויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים בורגיים:

- ויסות תפוקה מכני של מדחס בורגי
- שילוב ווסת תדר בצ'ילרים עם מדחסים בורגיים

2. וויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים צנטריפוגליים:

- ויסות תפוקה מכני של מדחס צנטריפוגלי
- שילוב ווסת תדר בצ'ילרים עם מדחסים צנטריפוגליים

מבוא

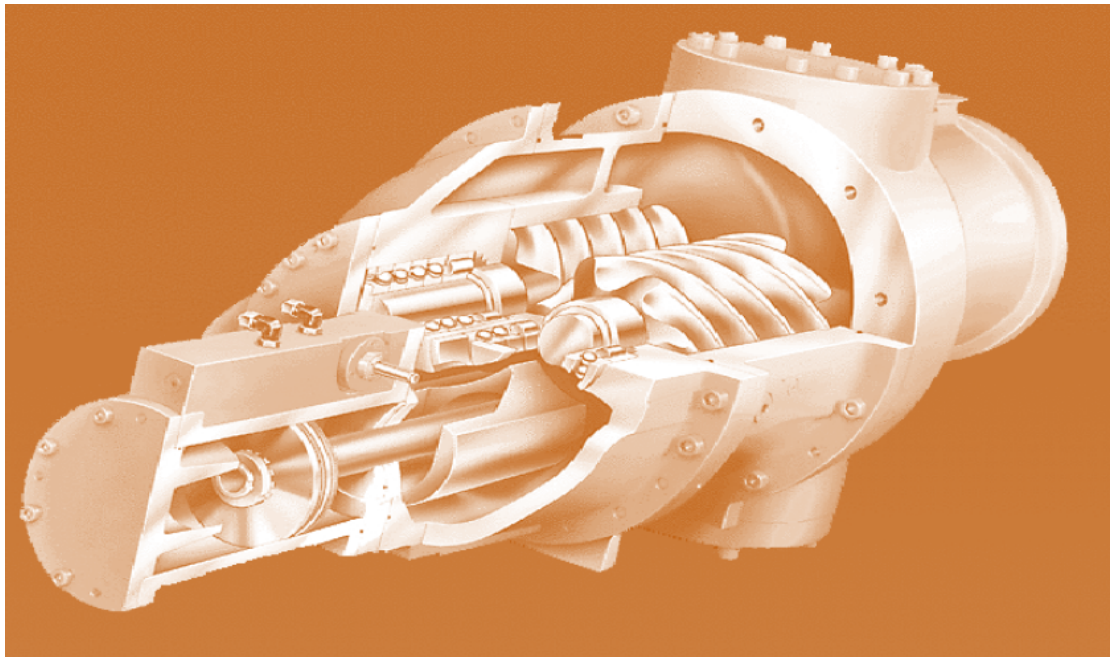
ההתפתחות המואצת בעשורים האחרונים של טכנולוגיות המיישמות שימוש במוליכים למחצה, הביאה לפיתוחם של ווסתי תדר מתקדמים ושילובם כאמצעי התנעה ואמצעים לוויסות תפוקה של צ'ילרים. בנוסף ליתרונות המכניים והחשמליים הגלומים בהתנעה הרכה, מתאפשרת פעולת מנוע המדחס במהירות ובמומנט הדרוש תוך שיפור ניכר ביעילות ובאמינות פעולתו.

יישום טכנולוגיית וויסות התפוקה בצ'ילר בעל מדחס צנטריפוגלי, מורכב ביחס לאופן יישומה בצ'ילר בעל מדחס בורגי ומחייב ביצוע אופטימיזציה בתפעול משולב של ווסת התדר עם מנגנון וויסות התפוקה המכני והמנגנון למניעת ההזדקרות הסיבובית המותקן בצנטריפוגה, כפי שיתואר להלן.

1. וויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים בורגיים:

- וויסות תפוקה מכני של מדחס בורגי

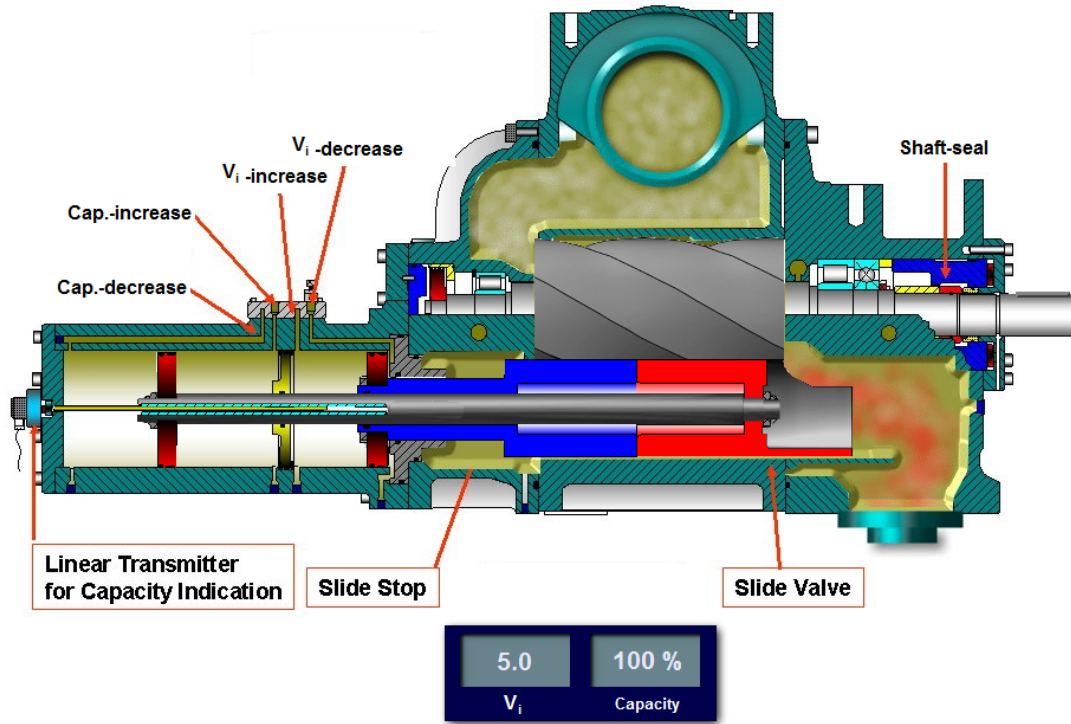
וויסות התפוקה הקונבנציונלי של מדחס בורגי מבוסס על אמצעי מכני בדמות בוכנת החלקה - Slide Valve, הממוקמת בחלל המצוי מתחת לזוג הברגים של המדחס ומווסתת את תפוקתו ע"י שינוי נפח השווא בחלל זה (ציור מס' 1).



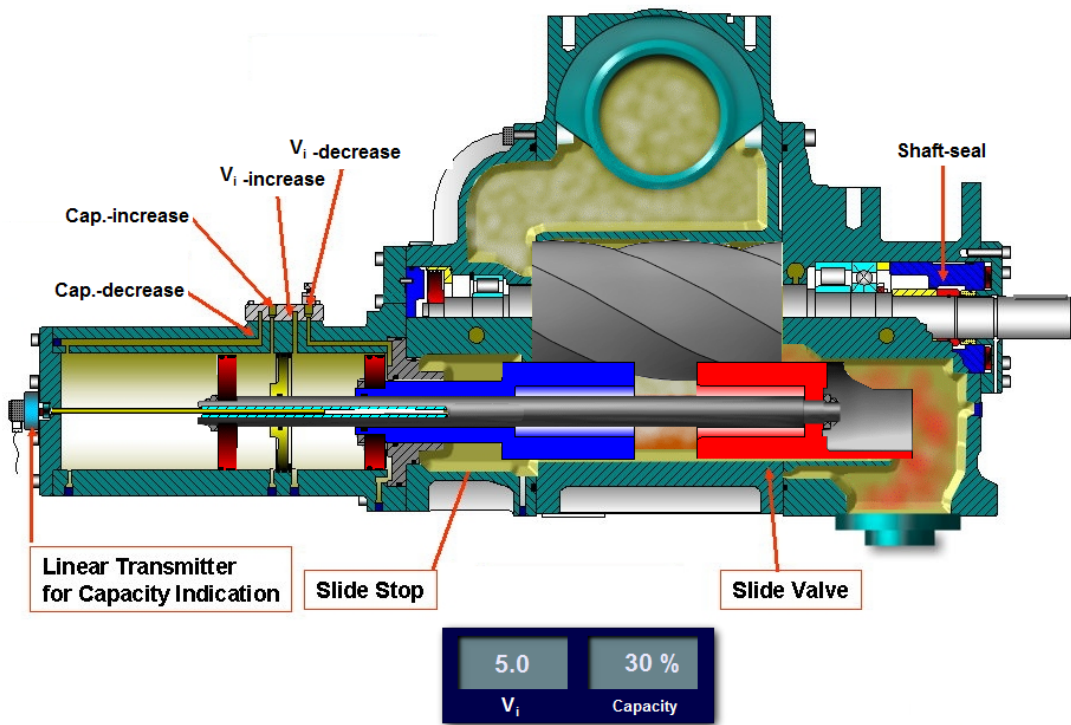
ציור מס' 1 - מדחס בורגי בעל מנגנון וויסות תפוקה מכני מטיפוס בוכנת החלקה (מקור - JCI).

במצב של דרישה לתפוקת קירור מלאה של 100% משתתפות כל כריכות הברגים בפעולת הדחיסה ונפח השווא שווה לאפס (ראה ציור מס' 2).

משקטנה הדרישה לתפוקת קירור מועבר אות ממערכת בקרת התפוקה לבוכנת ההחלקה לנוע ולהגדיל באופן רציף את נפח השווא מתחת לברגים. כתוצאה מכך קטן מספר הכריכות הפעילות המשתתפות בעבודת הדחיסה של חומר הקירור ותפוקת הקירור של הצ'ילר פוחתת (ראה ציור מס' 3). מצב זה מייצר הפסדים מכניים כתוצאה מעבודת ריקם שמבצעות הכריכות הבלתי פעילות של הבורג וכן הפסדי מערבולת הנוצרים בנפח חלל השווא.



ציור מס' 2- פעולת מדחס בורגי עם ווסת תפוקה מכני במצב של 100% תפוקה (מקור- JCI).



ציור מס' 3- פעולת מדחס בורגי עם ווסת תפוקה מכני במצב של 30% תפוקה (מקור- JCI).

• שילוב ווסת תדר בצ'ילרים עם מדחסים בורגיים

שילובו של ווסת התדר כאמצעי התנעה וויסות תפוקה של מדחס בורגי מייתרת כליל את הצורך בשימוש בבוכנת ההחלקה וכתוצאה מכך משפרת את יעילות הפעולה של המדחס ובמיוחד בעומסים חלקיים.

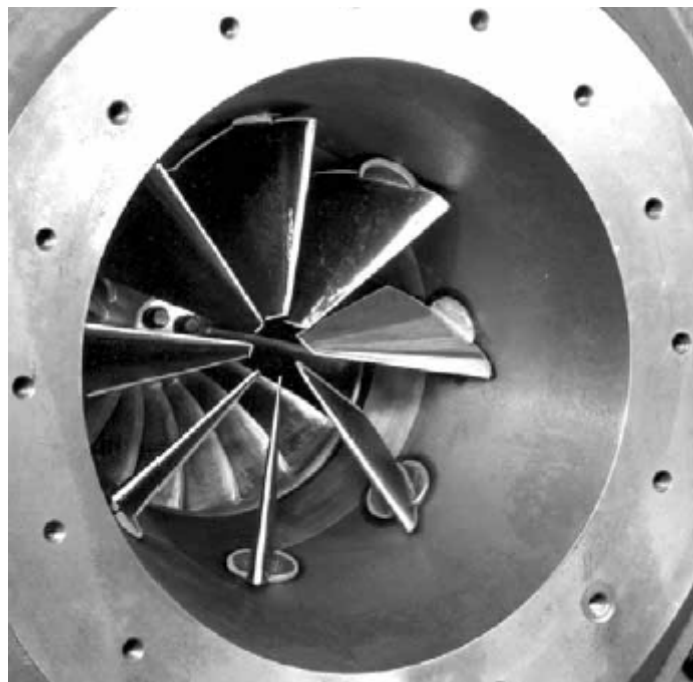
להלן סיכום היתרונות המכאניים, החשמליים והאנרגטיים הבאים לידי ביטוי בשימוש עם ווסת תדר:

- נצילות אנרגטית גבוהה ובמיוחד בעומסים חלקיים- יעילות ממוצעת גבוהה ב 15-20%
- אמינות מכנית גבוהה (50% חלקים נעים ביחס למדחס בעל מנגנון בוכנת החלקה)
- יתרונות חשמליים של התנעה רכה ביחס להתנעה מדורגת
- כופל הספק גבוה 0.95 (אין צורך בקבלים)
- אופטימיזציה בעומס חלקי- ניצול מרבי של מחליפי החום
- הגבלת עומס, השלת עומס, השלת רעש
- בקרה טמפ' רציפה ומדויקת במיוחד
- יכולת פעולה בתנאי חוץ קיצוניים- עד 52 מעלות

2. וויסות תדר של צ'ילרים עם מדחסים צנטריפוגליים:

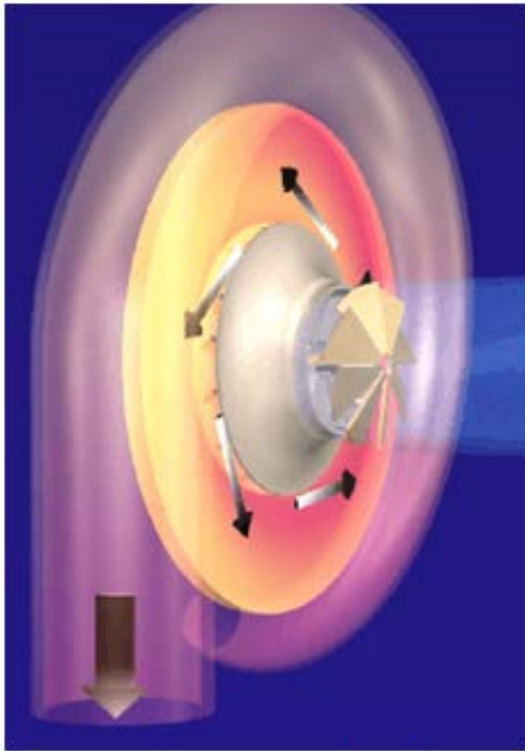
- וויסות תפוקה מכני של מדחס צנטריפוגלי

וויסות התפוקה הקונבנציונלי של מדחס צנטריפוגלי מבוסס על אמצעי מכני בדמות כפות הטיה המורכבות בפתח היניקה של הצנטריפוגה. במצב של דרישה לתפוקת קירור מלאה של 100% נמצאות הכפות במצב פתוח לחלוטין (ראה ציורים מס' 4,5).

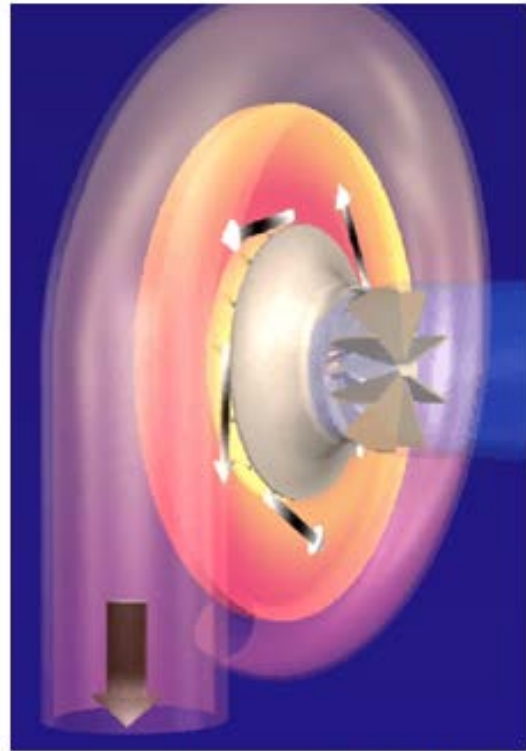


ציור מס' 4- מדחס צנטריפוגלי בעל מנגנון וויסות תפוקה מכני מטיפוס כפות הטיה (מקור- JCI).

משקטנה הדרישה לתפוקת קירור מועבר אות ממערכת בקרת התפוקה למפעיל החשמלי של מנגנון הכפות לנוע ולסגור באופן רציף את הכפות עד לנק' הנדרשת. כתוצאה מכך קטן פתח היניקה של חומר הקירור בכניסה לצנטריפוגה ותפוקת הקירור של הצ'ילר פוחתת (ראה ציור מס' 6). מצב זה מייצר הפסדים מכניים כתוצאה מעבודת ריקם, וכן כתוצאה מהיכוך ומערבולות הנוצרות בכניסה לצנטריפוגה.



ציור מס' 6 - פעולת מדחס צנטריפוגלי עם ווסת תפוקה מכני במצב של 30% תפוקה (מקור - JCI).



ציור מס' 5 - פעולת מדחס צנטריפוגלי עם ווסת תפוקה מכני במצב של 100% תפוקה (מקור - JCI).

• שילוב ווסת תדר בצ'ילרים עם מדחסים צנטריפוגליים

שילובו של ווסת התדר כאמצעי התנעה וויסות תפוקה של מדחס צנטריפוגלי אינו מייתר לחלוטין את הצורך בשימוש בווסת המכני. הסיבה לכך נעוצה בחוקי הדמיות של המדחס הצנטריפוגלי (ציור מס' 7).

Flow changes linearly with speed	$Flow\ Rate_2 = Flow\ Rate_1 \times (RPM_2/RPM_1)$
Head varies as the speed squared	$Lift_2 = Lift_1 \times (RPM_2/RPM_1)^2$
Power varies as the speed cubed	$Power_2 = Power_1 \times (RPM_2/RPM_1)^3$

ציור מס' 7 - חוקי דמיות של מדחס צנטריפוגלי בעל מנגנון וויסות תפוקה מסוג ווסת תדר (מקור - JCI).

בהתאם לחוקי הדמיות קטנה צריכת החשמל של המדחס בחזקה שלישית ביחס לשינוי המהירות. אולם, עומד הלחץ- Lift קטן אף הוא בחזקה שניה ביחס למהירות. עובדה זו עלולה לגרום, במקרה של עבודה מול לחץ עיבוי גבוה, לתופעת ההזדקרות הסיבובית הקרויה Stall ובמקרה הקיצון שלה הופעת הנחשול-Surge. תופעות אלה פוגעות בפעולתו התקינה של המדחס הצנטריפוגלי ועלולות להסב לו נזק מכני כבד.

על מנת להתגבר על בעיה זו מבצעת מערכת הבקרה של הצ'ילר אופטימיזציה בוויסות התפוקה המשלבת בין וויסות התדר מחד וכיוון מנגנון כפות ההטיה בכניסה למדחס ומנגנון מניעת ההזדקרות הסיבובית מאידך. פעולה זו מבוקרת באמצעות רגש לחץ- Transducer המותקן בצד הסניקה של שבלול הצנטריפוגה (ראה ציור מס' 8).

Adjust VGD & PRV Actuators and VSD for Optimum Performance



ציור מס' 8 - אופטימיזציה בוויסות תפוקה של מדחס צנטריפוגלי בעל מנגנון וויסות תפוקה מסוג ווסת תדר בשיילוב מנגנון כפות הטיה בכניסה לצנטריפוגה ומנגנון מניעת הזדקרות סיבובית במחילת הסניקה של הצנטריפוגה (מקור- JCI).

מקרא:

Pre Rotating Vanes	- מנגנון וויסות התפוקה באמצעות כפות ההטיה בכניסה לצנטריפוגה-
Variable Geometry Diffuser	- מנגנון מניעת הזדקרות סיבובית במחילת הסניקה של הצנטריפוגה-
Variable Speed Drive	- מנגנון וויסות התפוקה באמצעות ווסת תדר לשינוי מהירות הצנטריפוגה-

סיכום:

היתרונות המכאניים, החשמליים והאנרגטיים הבאים לידי ביטוי בשימוש עם ווסת תדר להתנעה וויסות תפוקה של צ'ילרים בעלי מדחסים צנטריפוגליים דומים במרביתם לאלה המושגים בפעולה עם צ'ילרים בעלי מדחסים בורגיים ואולם, באמצעות האופטימיזציה הנ"ל מושג שיפור נוסף ומתקבלת יעילות ממוצעת הגבוהה ב 30-40% ביחס ליעילות המתקבלת בפעולה עם מנגנון וויסות תפוקה מכני בלבד.