4 פרק | CONTROL EDGE

מפעילים ורכיבי הבקרה הסופיים

כיצד פקודת תוכנה הופכת לכוח, תנועה, חום וספיקה

Solenoids, פנאומטיקה, הידראוליקה, Control Valves, חימום, Fail-Safe ודיאגנוסטיקה

קהל יעד	מהנדסי מכונות, תהליך, ייצור, מכשור ובקרה
משך יעד	4 4 - 0 4 דקות
פורמט	יעל - מהנדסת מכונות צעירה; אמיר - מהנדס תהליך ובקרה ותיק
דוגמה מרכזית	שסתום קירור שמקבל 0 8 Command אך אינו מספק קירור
תוצר	תסריט מלא + Prompt ל-NotebookLM + צ'קליסט + מקורות

חומר לימודי. אינו מחליף תכן, הערכת סיכונים, Sizing, הוראות יצרן או מהדורות תקן מחייבות.

1. בדיקת התאמה לפני הפקה

- הפרק ממשיך ישירות מפרק 3 : מהאות שהבקר מקבל אל האפקט שהמערכת מייצרת.
- המבנה אינו קטלוג מוצרים; כל מפעיל נבחן לפי אנרגיה, Load, Dynamics, Feedback ו-Failure Mode.
- Control Valves מקבלים עומק מיוחד בגלל החיבור בין מכניקה, Fluid Mechanics ו-Control Loop.
- Functional Safety מוצגת כגבול אחריות ומחזור חיים, ללא חישובי SIL/PL מפורטים.
- הסיום מוביל לפרק 5 על מנועים, VFD, Servo ו-Motion Control.

בדיקת עדכניות

מפת המקורות נבדקה מול IEC, ISO ו-ISA. הפרק משתמש ב-IEC 60534-1:2023, ISO 13849-1:2023 ובמהדורת IEC 61514:2026 החדשה ל-Positioners.

2. מטרות הפרק

- למפות את שרשרת ההפעלה מפקודת תוכנה ועד לאפקט פיזיקלי ומשוב.
- להבחין בין Command, מצב המפעיל ו-Process Effect.
- להשוות מיתוג חשמלי, Solenoids, פנאומטיקה, הידראוליקה, מפעילים חשמליים וחימום.
- להסביר Sizing, Characteristic, Actuator, Positioner ואי-ליניאריות של Control Valves.
- לתכנן Fail-Safe באובדן מתח, אוויר, תקשורת ואנרגיה אגורה.
- להפריד בקרה רגילה מפונקציית Final Element בטיחותית.
- להשתמש בדיאגנוסטיקה, Proof Test וראיות תחזוקה.

3. חלוקת זמן ומקטעים

מטרה	מקטע	זמן
Command אינו תנועה ותנועה אינה Effect.	פתיחה	00:00-03:00
אנרגיה, ממשק, מפעיל, עומס ומשוב.	שרשרת הפעלה	03:00-06:30
Solenoids-ו Coils, Relays, Contactors, SSR.	מיתוג חשמלי	06:30-10:30
כוח, מהירות, דחיסות ואובדן אוויר.	פנאומטיקה	10:30-15:00
כוח, זיהום ואנרגיה אגורה.	הידראוליקה	15:00-19:00
Sizing, Characteristic, Actuator Positioner-ו.	Control Valves	19:00-25:30
Brakes, Clutches, Steppers ותמסורת.	מנגנונים חשמליים	25:30-29:30
ממשק הספק והגנה עצמאית.	חימום	29:30-33:30
Safe State וגבולות Functional Safety.	Fail-Safe	33:30-38:00
Feedback, בדיקות ותחזוקה.	דיאגנוסטיקה	38:00-41:30
חקירת שסתום הקירור ומעבר למנועים.	פתרון	41:30-44:00

4. מפת שרשרת ההפעלה

כשל אופייני	החלטה הנדסית	שלב
בחירת רכיב לפני הגדרת התוצאה.	Flow, כוח, תנועה, החזקה, עצירה או Heat Transfer.	1 . אפקט נדרש
אובדן, זיהום, Capacity חסר או Residual Energy.	חשמל, אוויר, לחץ הידראולי, קפיץ או אנרגיה אגורה.	2 . מקור אנרגיה
Inrush, Leakage, Welded contact, Transient או לחץ שגוי.	Relay, Contactor, SSR, Drive, Solenoid, I/P או Positioner.	3 . ממשק הספק
Undersizing, Stall, Friction, Wear או Overheat.	המרה לתנועה, Force, Torque או חום.	4 . Actuator
Backlash, looseness, Jam, Wear או Hot spot.	Linkage, Gearbox, Screw, Trim, Gripper, Brake או Heater.	5 . תמסורת ועומס
הצגת Command כאילו היה Actual.	Position, Pressure, Current, Speed, Force או Effect.	6. Feedback
Restart לא מבוקר, אנרגיה כלואה או	תגובה לכשל, בדיקה, תחזוקה	7 . Safe State ומחזור חיים

כשל אופייני	החלטה הנדסית	שלב
.Dormant failure	ותיעוד.	

5. מפת בחירת מפעיל

שאלות בחירה	שימושים	טכנולוגיה
Voltage, Current, Inrush, Suppression, .Response-ו Leakage, Duty	.ובידוד Discrete, Pilot מיתוג	Solenoid / Relay
Force margin, Speed, Cushion, Air quality .ואובדן אוויר	תנועה מהירה, Clamp, Sort ומיקום פשוט.	צילינדר פנאומטי
Pressure, Filtration, Heat, Leakage, Hose .Load holding-ו failure	.כוח או Torque גבוהים	צילינדר/מנוע הידראולי
Cv/Kv, DP, Fluid, Cavitation, Noise, .Shutoff-ו Rangeability	.ויסות רציף של Flow או Pressure	Control Valve
Torque profile, Speed, Duty, Gearbox, .Fail action-ו Override	מיקום מרחוק ו-Torque גבוה ללא אוויר.	Electric Actuator
Service, Wear, Diagnostics מול Holding .Residual motion-ו	החזקה, עצירה, צימוד או שחרור.	Brake / Clutch / Latch
Load, Current, Switching, Cooling .Independent high limit-ו	הוספת הספק תרמי.	Heater / Power controller

עקרון מרכזי

Command, Actual State ו-Process Effect חייבים להיות מזוהים בנפרד ב-I/O, בקוד וב-HMI.

6. הנחיה מוכנה ל-NotebookLM

הנחיה מוכנה להדבקה

צור פרק פודקאסט בעברית בלבד באורך 4 4 - 0 4 דקות, המבוסס אך ורק על מסמך זה.

המגישים: יעל - מהנדסת מכונות צעירה, חדה וסקרנית; אמיר - מהנדס תהליך ובקרה ותיק, רגוע ומעשי.
חלוקת דיבור כ- 5 4 יעל ו- 5 5 אמיר.

השתמש בשסתום הקירור שמקבל % 0 8 Command אך אינו מקרר כחוט עלילתי. אל תפתור אותו עד הסיום.
הסבר בכל פעם את ההבדל בין Command, State ו-Effect. שמור על שיחה טבעית ולא הרצאה. אל תקריא URLs
או סעיפי תקן. אל תמציא Cv, Torque, SIL, PL או זמני תגובה. כאשר מוזכר Fail-Safe, הצג אותו כתוצאה של Risk
Assessment ולא ככלל אוניברסלי. הדגש אנרגיה אגורה וגבולות תחזוקה.

מבנה חובה: פתיחה; שרשרת הפעלה; מיתוג ו-Solenoids; פנאומטיקה; הידראוליקה; Control Valves; מפעילים

חשמליים ובלמים; חימום; Fail-Safe; Diagnostics; פתרון ומעבר למנועים. השתמש בתסריט כמסגרת עובדתית מחייבת ואפשר תגובות טבעיות קצרות בלבד.

7. תסריט מלא לפרק

00:00-03:00 | פתיחה - השסתום ציית ועדיין נכשל

אמיר: שסתום מי קירור של ריאקטור מקבל פקודה להיפתח לשמונים אחוז. ה-HMI מציג שמונים אחוז, יציאת הבקר שמונים אחוז, אבל הטמפרטורה ממשיכה לעלות. מיד מאשימים את כיוון ה-PID.

יעל: אבל פקודה אינה תנועה, ותנועה אינה בהכרח ספיקה.

אמיר: בדיוק. ייתכן של-Positioner חסר אוויר, שהגבעול תקוע, שה-Linkage רופף, שהשסתום קטן מדי, שה-Trim פגום או שמפל הלחץ שונה מתנאי התכן. תוכנה מושלמת יכולה להסתיים ב-Final Element חלש או תקול.

יעל: בפרק 3 הפכנו פיזיקה למידע. היום נלך בכיוון ההפוך: מידע הופך לכוח, תנועה, חום וספיקה.

אמיר: והכלל שלנו: Command, State ו-Effect הם שלושה דברים שונים. צריך לדעת מה באמת מוצג ומה באמת מוגן.

03:00-06:30 | שרשרת ההפעלה

יעל: מה יש בין Bit בבקר לבין מנגנון שזז?

אמיר: מתחילים באפקט הנדרש: לעצור ציר, לאחוז חלק, לווסת קיטור, להרים עומס או להוסיף חום. הבקר מחשב פקודה, מודול יציאה או רשת מעבירים אותה, ממשק הספק מספק מתח, זרם, לחץ או ספיקה, המפעיל ממיר אנרגיה, התמסורת מפעילה את העומס, משוב מאשר מצב והתהליך מגיב.

יעל: כלומר Digital Output כמעט אף פעם לא מפעיל ישירות את העומס הגדול.

אמיר: נכון. הוא מפעיל Relay, Contactor, SSR, סליל Solenoid, Drive Enable או Positioner. צריך לבדוק Inrush, אנרגיה אינדוקטיבית, בידוד, תדירות מיתוג ודיאגנוסטיקה.

יעל: וכל שכבה יכולה להיכשל בנפרד.

אמיר: כן. Fuse פתוח, מגע מולחם, Spool תקוע, צילינדר נע מול עומס תקוע. משוב צריך להיבחר לפי האפקט והסיכון, לא לפי מה שנוח לחווט.

06:30-10:30 | מיתוג חשמלי, Relays ו-Solenoids

יעל: נתחיל מהיציאות הפשוטות.

אמיר: סליל הוא עומס אינדוקטיבי. כשהזרם נקטע, השדה המגנטי קורס ונוצר Transient. רכיב Suppression מגן על היציאה אבל גם משנה את זמן השחרור. Diode ב-DC מדכא היטב אך עלול להאט Dropout, וזה חשוב במחזור מהיר או בפונקציית בטיחות.

יעל: מה בודקים לפני שמחברים ליציאת PLC?

אמיר: זרם רציף ו-Inrush, Leakage, Minimum Load, תדירות מיתוג, Short Circuit, קבוצות Common, AC או DC ודיאגנוסטיקה. וגם האם OFF באמת מסיר אנרגיה או רק פקודה.

יעל: Relay מכני מול SSR?

אמיר: Relay נותן בידוד ומתאים לעומסים מגוונים, אבל המגעים נשחקים ועלולים להידבק. SSR מהיר ושקט, אך יש Leakage, נפילת מתח, חום ומצבי כשל אופייניים. בחימום ניתן להשתמש ב-SSR לוויסות מהיר וב-Contactor לניתוק גיבוי.

יעל: ו-Solenoid Valve הוא הרבה מעבר לסליל.

אמיר: נכון. יש Armature או Pilot, אטמים, Orifices ומגבלת Flow. שסתום Pilot-operated עלול לא להחליף מצב ללא Differential Pressure מינימלי. לכלוך, לחות, Exhaust חסום או Porting שגוי יכולים לבטל פקודה תקינה.

10:30-15:00 | פנאומטיקה - מהירה, נקייה ודחיסה

יעל: למה צילינדרים פנאומטיים כל כך נפוצים?

אמיר: הם פשוטים, מהירים, סלחניים לעומס יתר וקלים להפצה. אבל האוויר דחיס. קשיחות מיקום, מהירות וכוח תלויים בלחץ, Flow, נפח, Cushioning, חיכוך ועומס. חישוב Bore כפול לחץ בלבד מתעלם מהפסדים, שטח המוט, Breakaway ומרווח דינמי.

יעל: איך שולטים במהירות?

אמיר: לרוב ב-Meter-out, ויסות האוויר היוצא, כדי לקבל Damping. Meter-in עלול להיות לא יציב בעומס שמושך את הצילינדר. בולמי קצה ו-Stops צריכים לספוג אנרגיה קינטית; Sensor קצה אינו מעצור מכני.

יעל: ומה קורה באובדן אוויר?

אמיר: זו החלטת תכן. ציר אנכי עלול ליפול, Gripper עלול לשחרר או להישאר נעול, Valve Directional יכול לפרוק, להחזיק או לחזור בקפיץ. Safe State חייב להתחשב בלחץ כלוא, כבידה, תחזוקה ו-Restart. גם Dump מהיר עלול ליצור תנועה מסוכנת.

יעל: ISO 4414 הוא בסיס בטיחותי, ו-ISO 15552 נותן מידות החלפה לסדרת צילינדרים נפוצה.

אמיר: נכון, אך אותה מעטפת מכנית אינה מבטיחה אותה דינמיקה, אטימה או אורך חיים.

15:00-19:00 | הידראוליקה - כוח ואנרגיה אגורה

יעל: בהידראוליקה מקבלים צפיפות כוח גבוהה.

אמיר: כן, אבל דליפות, זיהום, טמפרטורה, קריעת צינור, Injection Injury ואנרגיה אגורה הופכים קריטיים. Accumulator ועומס תלוי נשארים מסוכנים גם אחרי כיבוי חשמל.

יעל: מה מפספסים בבקרה?

אמיר: Valve overlap, Pressure Compensation, Load-induced motion, Cavitation, התפשטות נוזל כלוא וההבדל בין פקודת כיוון לבין בקרת מהירות. Servo ו-Proportional Valves דורשים ניקיון וסינון. Creep יכול לנבוע מדליפה פנימית ולא מקוד.

יעל: איך מחזיקים עומס אנכי?

אמיר: באמצעות Load-holding, Counterbalance, Pilot-operated checks או Brake מכני, לפי הערכת הסיכון. סגירת Directional Valve ליד המשאבה לא בהכרח מגינה מקריעת Hose. ISO 4413 נותן דרישות כלליות.

יעל: כלומר Isolation כולל פריקת לחץ ואימות, לא רק OFF.

אמיר: בדיוק.

מפגש בין Fluid Mechanics למכניקה - Control Valves | 19:00-25:30

יעל: מה הופך Control Valve לרכיב בקרה ולא רק שסתום?

אמיר: זו הרכבה של Body, Trim, Actuator ולרוב Positioner. הבחירה משלבת ספיקה, חומרים, Pressure Boundary, Thrust או Torque, תגובה, Leakage ותחזוקה. סדרת IEC 60534 היא מסגרת מרכזית, ו-ISA-75 משלימה בתקנים ו-Practices.

יעל: למה Line Size אינו Valve Size?

אמיר: השסתום נבחר לפי Flow, Pressure Drop, תכונות נוזל, Choked Flow, Cavitation או Flashing, רעש ו-Operating Range. שסתום גדול מדי עובד קרוב למושב, עם רזולוציה גרועה ובלאי; קטן מדי נתקע על 100.

יעל: ו-Inherent Characteristic אינו ה-Installed Characteristic.

אמיר: נכון. Linear, Equal Percentage ו-Quick Opening מוגדרים בתנאי בדיקה. במערכת, עקומת משאבה והפסדי צנרת משנים את מפל הלחץ. Equal Percentage נפוץ אבל לא תשובה אוטומטית.

יעל: מה המפעיל צריך להתגבר עליו?

אמיר: Packing friction, Seat Load, Pressure Forces, Unbalance, כוחות דינמיים ו-Shutoff. הוא חייב להיות מתוכנן למקרה הגרוע הסביר ולמצב הכשל, לא רק ל-Modulation רגיל.

יעל: ומה עושה Positioner?

אמיר: סוגר Local Position Loop סביב המפעיל והשסתום, משפר מיקום מול חיכוך וכוחות ונותן Diagnostics. אבל Position Feedback אינו הוכחת Flow; Linkage מנותק יכול להראות Travel בלי תנועה נכונה של Plug.

יעל: Stiction ו-Deadband יכולים להיראות כמו PID גרוע.

אמיר: בהחלט. Step Test ו-Valve Signature מסייעים להפריד בין Controller לבין Final Element.

מפעילים חשמליים, בלמים ותמסורת | 25:30-29:30

יעל: לא כל תנועה דורשת Servo מלא.

אמיר: נכון. Linear Actuators, Gearmotors, Steppers, Brakes, Clutches ומנגנוני Latch מתאימים למשימות רבות. בוחרים לפי Force/Torque מול Speed, Stroke, Duty, Backlash, Holding, סביבה ומה קורה בלי חשמל.

יעל: Brake הוא מפעיל.

אמיר: כן. Spring-applied electrically released brake יכול להחזיק ציר אנכי, אך צריך לבדוק מומנט עצירה, בלאי, Air Gap, חום ודיאגנוסטיקה. Holding Brake אינו בהכרח Service Brake.

יעל: Stepper פתוח יכול לאבד צעדים בלי לדעת.

אמיר: עומס, תאוצה או Resonance עלולים לגרום לכך. Feedback או Homing עוזרים, אבל Couplings, Belts ו-Screws עדיין חלק מהשרשרת. מנועים ו-Motion יקבלו פרק נפרד.

חימום כ-Final Element | 29:30-33:30

יעל: בחימום אין Stem, ולכן נוטים לחשוב שזה פשוט.

אמיר: אבל יש אנרגיה גבוהה, Thermal Lag וסיכון אש או פגיעה במוצר. הבקר מפעיל Contactor, SSR, Thyristor או Power Regulator. צריך לתכנן לפי זרם אמיתי, Inrush, טמפרטורת סביבה ופיזור חום.

יעל: איך מפרידים בקרה מהגנה?

אמיר: הלולאה הרגילה מווסתת. פונקציית High Temperature עצמאית צריכה להסיר או להגביל אנרגיה דרך נתיב מתאים. SSR מולחם יכול להמשיך להוליך אחרי שהפקודה OFF, ולכן לעיתים נדרש Contactor נפרד.

יעל: וגם כאן מיקום החיישן חשוב.

אמיר: כן. גוף חימום יכול להתחמם מקומית בזמן שה-Bulk Sensor נמוך. Flow proving, Low level, Surface Temperature, Cutout ו-Cooldown יכולים להיות נדרשים. האפקט הוא Heat Transfer, לא Bit ON.

Safe State ומהו Fail-Safe | 33:30-38:00

יעל: האם השסתום צריך Fail Open או Fail Closed?

אמיר: זו שאלה חלקית. Safe State תלוי בסיכון ובכשל היוזם. Cooling עשוי להיפתח באובדן אנרגיה, אבל קירור בלתי מבוקר עלול להזיק. Fuel Gas נוטה להיסגר, אך צריך לבחון Inventory כלוא, Vent ו-Depressurization. לפעמים נדרש Fail-in-place או Sequence מבוקר.

יעל: Spring Return אוגר אנרגיה כדי להגיע למצב מוגדר.

אמיר: נכון, אך צריך לאמת כיוון, Force לאורך Stroke, זמן תנועה, Torque Profile ו-Common Cause. אנרגיה אגורה מועילה לבטיחות אך מסוכנת בתחזוקה.

יעל: De-energize-to-trip תמיד עדיף?

אמיר: לא תמיד. הוא טוב לגילוי אובדן מתח ול-Spring Return, אבל יש Spurious Trips, Energize-to-trip ופתרונות מגובי סוללה. צריך ניתוח מלא.

יעל: במכונות משתמשים ב-ISO 13849-1 או IEC 62061, ובתהליך ב-IEC 61511.

אמיר: כן. כולם מסתכלים על הפונקציה המלאה, לא על רכיב בודד עם תעודה.

דיאגנוסטיקה, בדיקות ותחזוקה | 38:00-41:30

יעל: איך יודעים שהמפעיל יעבוד בדרישה?

אמיר: משוב ובדיקות מתאימים: End switches, Analog travel, Pressure, Motor current, Positioner diagnostics. אבל המשוב חייב לזהות את הכשל הרלוונטי ולא רק לחזור על הפקודה.

יעל: מהו Partial Stroke Test?

אמיר: בשסתומי Shutdown מסוימים מזיזים מעט את השסתום כדי לגלות Sticking או כשל מפעיל בלי להפסיק תהליך. זה משפר Diagnostic Coverage לחלק מהכשלים, אך אינו מחליף Full Proof Test.

יעל: תחזוקה משנה את הדינמיקה.

אמיר: Repacking משנה חיכוך, צילינדר חלופי משנה Cushion, Solenoid אחר משנה Flow ו-Suppressor משנה Release Time. צריך As-found, As-left, Configuration Control ובדיקה פונקציונלית.

פתרון התקלה וסיום | 41:30-44:00

יעל: נפתור את שסתום הקירור.

אמיר: אחת: להשוות Command, Position ו-Process Effect על אותו ציר זמן. שתיים: לבדוק לחץ וספיקת Instrument Air בזמן תנועה. שלוש: לבצע Stroke או Step Test בטוח. ארבע: לבדוק Linkage, Stem, Packing ו-Travel Calibration. חמש: לאמת Sizing ו-Available DP. שש: לבדוק Trim. רק אז לחזור ל-PID.

יעל: אם ה-HMI הציג Command כאילו היה Position, הוא אמר אמת על התוכנה ושיקר בעקיפין על המכונה.

אמיר: לכן קוראים לו Output Command, מוסיפים Feedback מוצדק ומציגים Bad או Stale.

יעל: הצ׳קליסט: Effect, מקור אנרגיה, Actuator, תמסורת, Margin, משוב, Failure Position, אנרגיה אגורה, Manual Override, סביבה ותחזוקה.

אמיר: בדיוק. ה-Final Element הוא המקום שבו קוד הופך לתוצאה.

יעל: בפרק 5 : מנועים, VFD, Servo ו-Motion Control.

אמיר: ועד אז - Bit ירוק אינו הוכחה לפעולה פיזית.

8. הערות למפיק ולמגישים

- לשמור על הבדל עקבי בין Command, Feedback ו-Effect.
- לא להפוך רשימת יצרנים או טכנולוגיות לדירוג מסחרי.
- ב-Control Valve לעצור לפני חישובי Sizing מפורטים ולהפנות למהנדס מוסמך ולנתוני תהליך.
- להציג אובדן חשמל, אוויר, Hose, תקשורת ו-Stored Energy כתרחישים נפרדים.
- לא לתאר Partial Stroke Test כתחליף ל-Proof Test מלא.
- לשמור את פתרון התקלה לסיום.

9. צ׳קליסט תכן לשרשרת הפעלה

1. מהו האפקט הפיזיקלי הנדרש ומהם Normal, Upset ו-Emergency states?
2. מהו מקור האנרגיה ומה Capacity, Quality ו-Isolation שלו?
3. מהם Force/Torque, Speed, Stroke, Duty ו-Margin?
4. מהם Inrush, Transient, Leakage, Heat ו-Switching frequency?
5. מהם חיכוך, Backlash, Compliance, Cushioning ו-Kinetic energy?
6. איזה Feedback מוכיח State ואיזה מוכיח Effect?
7. מה קורה באובדן חשמל, אוויר, Pressure, Network או Sensor?
8. איזו אנרגיה נשארת כלואה ואיך פורקים ומאמתים אותה?
9. מהו Safe State, מי קבע אותו וכיצד הוא מאומת?
10. כיצד מתבצעים Manual Override, LOTO ו-Restart?
11. אילו בדיקות Acceptance, Stroke, Proof ו-Periodic נדרשות?
12. כיצד נשמרים As-found, As-left, Spares ו-Configuration?

10. מילון מונחים

מונח	משמעות בפרק
Actuator	רכיב הממיר אנרגיה ופקודה לתנועה, כוח, Torque או אפקט פיזיקלי.
Final control element	הרכיב בחוג תהליך שמשנה ישירות את ה-Manipulated Variable.
Final element	תת-המערכת בפונקציית בטיחות שפועלת על התהליך כדי להגיע ל-Safe State.
Stiction	חיכוך סטטי המונע תנועה עד הצטברות כוח ושחרור

מונח	משמעות בפרק
	פתאומי.
Deadband	טווח שינוי בכניסה שאינו יוצר שינוי ביציאה.
Fail-safe	התנהגות מתוכננת למצב בטוח מוגדר בכשלים שנבחרו.
De-energize-to-trip	הסרת אנרגיה מפעילה את הפעולה המגינה.
Proof test	בדיקה תקופתית לגילוי כשלים מסוכנים חבויים.
Partial-stroke test	תנועה חלקית של שסתום לגילוי חלק מהכשלים ללא Shutdown מלא.
Stored energy	אנרגיה בקפיץ, לחץ, כבידה, קבל, אינרציה או חום לאחר כיבוי.

11. מפת תקנים ומקורות

הערת שימוש

יש לאמת בכל פרויקט את המהדורה שאומצה בחוזה, במדינה ובענף, כולל Amendments ודרישות יצרן.

13. IEC 60534-1:2023 - מונחים ושיקולים כלליים ל-Control Valves. מקור רשמי
14. IEC 60534-2-4:2009 - מאפייני ספיקה פנימיים ו-Rangeability. מקור רשמי
15. IEC 60534-2-3:2015 - נהלי בדיקת Flow Capacity. מקור רשמי
16. IEC 60534-4:2021 - בדיקות Inspection ו-Routine. מקור רשמי
17. IEC 60534-7:2010 - דרישות Data Sheet לשסתומי בקרה. מקור רשמי
18. IEC 61514:2026 - הערכת ביצועי Positioners עם יציאה פנאומטית. מקור רשמי
19. ISA-75 series - תקני תכן, Sizing, בדיקות, ביצועים ודיאגנוסטיקה. מקור רשמי
20. ISO 4414:2010 - כללים ודרישות בטיחות למערכות פנאומטיות. מקור רשמי
21. ISO 4413:2010 - כללים ודרישות בטיחות למערכות הידראוליות. מקור רשמי
22. ISO 15552:2018 - מידות החלפה לסדרת צילינדרים פנאומטיים. מקור רשמי
23. ISO 12100:2010 - עקרונות Risk Assessment ו-Risk Reduction למכונות. מקור רשמי
24. ISO 13849-1:2023 - חלקי בקרה בטיחותיים במכונות, כולל טכנולוגיות לא-חשמליות. מקור רשמי
25. IEC 62061:2021+A1:2024 - Functional Safety למערכות בקרה בטיחותיות במכונות. מקור רשמי
26. IEC 60204-1:2016+A1:2021 - ציוד חשמלי למכונות, כולל Drives ו-Emergency Stop. מקור רשמי
27. IEC 61511-1:2016+A1:2017 - דרישות מחזור חיים ל-SIS בתעשיית התהליך. מקור רשמי
28. ISA-84 series - תקנים והנחיות ל-SIS מהחיישן ועד Final Element. מקור רשמי

12. שער איכות לפרק

- המאזין יכול לצייר שרשרת Command-to-Effect מלאה.
- Command, State ו-Effect אינם מוצגים כמילים נרדפות.
- פנאומטיקה והידראוליקה כוללות Stored Energy ותגובה לאובדן אספקה.

- Control Valve מוסבר דרך Sizing, Dynamics, Positioner ו-Failure modes.
- Fail-Safe מוצג כתוצאה של Risk Assessment.
- Functional Safety נשארת בגבולות האחריות הנכונים.
- הסיום מוביל ישירות למנועים ו-Motion Control.