

בקרת תהליכים ומערכות

הגדרות:

מערכת: אוסף רכיבים המובילים יחד פעולה משותפת

מערכת בקרה: אוסף של רכיבים לשליטה או ויסות של משתנה פיסיקלי. דוגמא: טמפרטורה, מהירות, עוצמת אור.

מערכת אוטומטית: מבצעת מספר פעולות מוגדרות מראש ללא התערבות האדם.

בקרה: מעקב טכנולוגי תמידי אחר פעולתו של גוף, של מנגנון, של מכונה וכד' כדי לפקח עליהם להנחות אותם לייעל אותם וכדו'. דוגמאות: (בקרת תהליך, בקרת אש).

בקרה יעילה היא תנאי הכרחי לפעולה תקינה ונכונה של מערכות חברתיות, ביולוגיות, כימיות, כלכליות והנדסיות. פעולה תקינה של מערכות אלו מתאפשרת תודות למנגנון בקרה המפקח על אופי פעולתן ומתאים אותו למצב בו נמצאת המערכת ולהלן מספר דוגמאות:

1. החלטות של עורכי מהדורות החדשות מה ומתי לפרסם ובאיזה הדגשים קובעת את סדר היום הציבורי. בקרה נכונה של מידע זה חשובה מאד לפעולה תקינה של החברה.
2. ריבית בנק ישראל נקבעת על ידי נגיד הבנק בהתאם ליעדים הכלכליים של הממשלה ובהתאם למידע שמספקת הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. הלשכה בודקת את מצבו הכלכלי של המשק באופן תקופתי ובהסתמך על מידע זה מחליט הנגיד האם ובאיזו מידה יש לשנות את הריבית.
3. קצב פעימות הלב קובע את כמות הדם שתוזרם לאיברי הגוף. מנגנון בקרה ביולוגי קובע את קצב הפעימות בהתאם למצב בו נמצא הגוף היות ובמצבים כמו מאמץ התרגשות שינה דרושים שינויים בקצב זרימת הדם בגוף. במקרים מסוימים של תקלה במנגנון הבקרה הביולוגי ניתן להחליפו במערכת בקרה אלקטרונית (קוצב לב) שתבקר ותפעיל את הלב.
4. מידת הלחיצה על דוושת הגז ברכב קובעת את מהירות הרכב. הנהג אוסף בעזרת חושיו מידע מהסביבה כגון עומס התנועה, המהירות המותרת בקטע כביש זה, קריאת מד מהירות ועוד. על סמך נתונים אלו מחליט הנהג אם ובאיזו מידה יש לשנות את הלחיצה על הדוושה.

ברוב המקרים הבקרה על **פלט** המערכת (זרימת דם, אינפלציה, מהירות המכונית) מושגת על ידי שליטה באחד מאותות הקלט של המערכת (קצב פעימות הלב, ריבית, לחיצה על דוושת הגז). קלט המידע המורה כיצד לבקר את פעולת המערכת מתקבל ממנגנון בקרה (הנקרא **בקר**). הבקר מפיק פלט מידע המוזן כקלט למערכת בהתאם למידע שהתקבל מהסביבה ובהתאם לפקודות **סוג הבקרה** שלו.



מערכת מבוקרת

הגדרה נוספת של חוג בקרה פתוח היא שזו מערכת שאינה מבוקרת בחוג סגור.

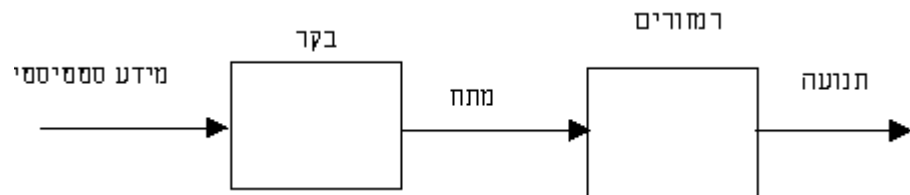
דוגמא: רמזורים

תפקידה של מערכת רמזורים הוא לבקר את תנועת המכוניות בצומת כדי לצמצם את עומס התנועה. תנועת המכוניות בצומת מבוקרת בעזרת קביעת משך הזמן בו נשלח אות מתח להפעלת הנורה הירוקה, האדומה והכתומה של כל אחד מנתיבי התנועה. כדי לקבוע את משך הזמן בו יופעל האור הירוק מציבים בצומת אנשים הבודקים במשך מספר ימים מה הוא מספר המכוניות העוברות בכל אחד ממסלולי התנועה שבצומת.

פרק הזמן המוקצה לבסוף לכל נתיב נקבע על פי עומס התנועה בנתיב זה.

פעולת מערכת הרמזור מבוקרת תוך שימוש **במידע סטטיסטי** אודות זרימת התנועה בצומת. ההנחה שמסייעת בקביעת אלגוריתם הבקרה היא שבכל יום מספר המכוניות המגיע לצומת וכיוון נסיעתן הוא פחות או יותר קבוע

ולכן דיאגרמת המלבנים היא:



דוגמא לסוג בקרה של מערכת הרמזורים הוא:

1. הפעל אור ירוק לנתיב 1 למשך 20 שניות, בנתיבים 2,3 ו 4 הדלק אור אדום.
2. הפעל אור ירוק לנתיב 2 למשך 15 שניות, בנתיבים 1,2 ו 4 הדלק אור אדום.
3. ...
4. חזור לשלב מספר 1.

ככל שהמידע הסטטיסטי שנאסף יהיה קרוב יותר למצב האמיתי בצומת המבוקרת תתאפשר בקרה יעילה יותר על תנועת המכוניות בצומת.

בצמתים רבים כיוון התנועה בשעות הבוקר הוא בדרך כלל הפוך לכיוון התנועה בשעות אחר הצהריים והערב. ניתן למשל לתכנת את אלגוריתם הבקרה מערכת הרמזורים כך שתיתן עדיפות גבוהה לכיוון אחד בשעות הבוקר (ועדיפות נמוכה לכיוון הנגדי) ובשעות אחר הצהריים סדר העדיפויות יתהפך. השיטה בסטטיסטי מוגבלת היות וקשה להתאימה לשינויים כמו משחק כדורגל או עומס במרכז קניות לפני חג.

סיכום

בצומת המרומזרת פעולת סוג הבקרה אינה מושפעת מגודלו או איכותו של התוצר הסופי אותו מבקרת המערכת. מצב זה עלול להיות בעייתי במצבים מסוימים. תנועה ערה בכיוון לא צפוי בצומת מערכת בקרת הרמזורים לא "תסתגל" באופן אוטומטי למצב המשתנה ובצומת יוצר עומס תנועה כבד.

פעולות בקרה של מערכת זו ורבות אחרות אינה כוללת בדיקה של תוצאת התהליך באמצעות חיישן. העדר מידע על תוצר התהליך גורם לכך שהמערכת אינה מסוגלת לתקן בעיה שנוצרת במהלך פעולתה. למערכות מסוג זה קוראים **מערכות בקרה בחוג פתוח**. בקרה בחוג פתוח מתאימה במקרים הבאים:

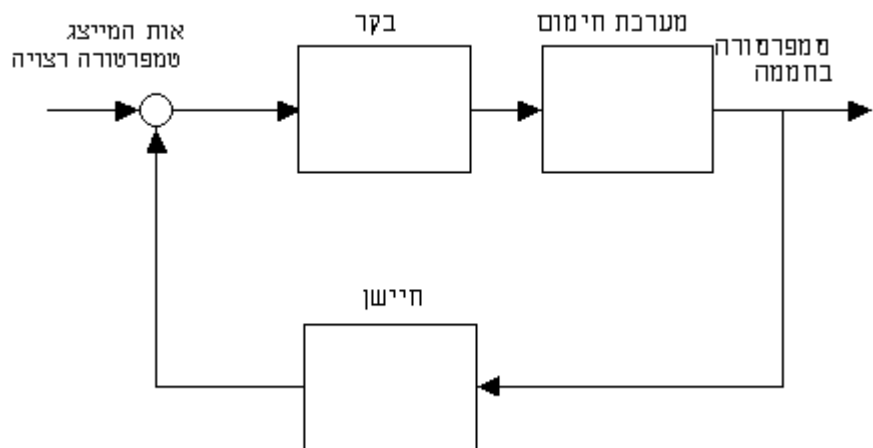
1. יש יסוד סביר להניח שלמרות שאין מדידה של התוצר המערכת תתפקד בהתאם לדרישות.
2. חיבור חיישן שימדוד את התוצר ייקר במידה ניכרת את המערכת ויפגע בהצלחתה המסחרית.
3. קשה מאד למדוד את התוצר הסופי בזמן אמת ולכן קשה גם להגיב באופן מידי ויעיל.

מערכות בקרה בחוג סגור

מערכות בקרה בחוג סגור הן מערכות בקרה בהן האות שמפיק הבקר למערכת מושפע משגיאות בתפוקת המערכת. מערכת בחוג סגור היא לכן מערכת בה מתקיימים שלושת התנאים הבאים:

1. **מדידה של המשתנה המבוקר** חיישן המסוגל למדוד את תפוקת המערכת מספק למערכת הבקרה מידע על תפוקת המערכת. שים לב במערכת החממה שתפקידה בקרת טמפרטורה מותקן חיישן למדידת טמפרטורה אך המערכת פועלת בחוג פתוח היות והחיישן נמצא מחוץ לחממה ומודד את טמפרטורה הסביבה ולא את הטמפרטורה בתוך החממה.
2. **משתנה מבוקר:** גודל או תפוקת המע' הנשלטים ע"י מע' הבקרה.
3. **השוואת תוצאת המדידה עם ערך רצוי** כתוצאה מחיסור הערך שמספק החיישן מהערך הרצוי מתקבלת שגיאה. $e=r-b$ שגיאה e , ערך רצוי r , ערך בפועל b .
3. **תיקון בהתאם לשגיאה** הבקר מפיק אות פלט (פלט מידע) במטרה לתקן את השגיאה על ידי וויסות האנרגיה או החומר המוזן למערכת.

כדי לסגור את חוג הבקרה בחממה יש להתקין חיישן בתוך החממה שימדוד את הטמפרטורה בחממה ויפעיל את מערכת החימום בהתאם לטמפרטורה בחממה.



דוגמא: תנור אפייה – toaster oven



כדי שתהליך אפיית כיסני הבצק והעוגה שבתמונה יסתיים בהצלחה יש לשמור על הטמפרטורה מוגדרת וקבועה בתוך תא האפייה. במידה והטמפרטורה בתא האפייה תהיה נמוכה מהנדרש הבצק לא יאפה כראוי ויהיה "רטוב". "לחליפין אם הטמפרטורה בתא האפייה תהיה גבוהה מדי הבצק" יישרף."

מערכת הבקרה של טמפרטורת תא האפייה מבוססת על:

1. חיישן המודד את הטמפרטורה של תא האפייה.
2. בקר המוזן במידע המגיע מחיישן הטמפרטורה ומידע המגיע מהמשתמש באמצעות כפתור בורר הטמפרטורה (הנקרא לפעמים "תרמוסטט").
3. גוף חימום חשמלי המותקן בתא האפייה.

סוג הבקרה של המערכת הוא:

- אם הטמפרטורה בתא האפייה נמוכה מהערך הרצוי הפעל את גוף החימום.
 - אם הטמפרטורה בתא האפייה גבוהה מהערך הרצוי הפסק את פעולת גוף החימום.
- כדי להודיע למשתמש האם גוף החימום פועל או לא מצוידים רוב התנורים בנורת בקרה

הדולקת כאשר סוג הבקרה מפעיל את התנור.
 סוג בקרה זה נקרא **בקרה דו-מצבית** ובאנגלית בקרת on-off. אלגוריתם בקרה פשוט זה מקובל מאד במערכות שתגובתן איטית יחסית ושרמת הדיוק הנדרשת מהן אינה גבוהה במיוחד.

דיאגרמות מלבנים של מערכות בקרה

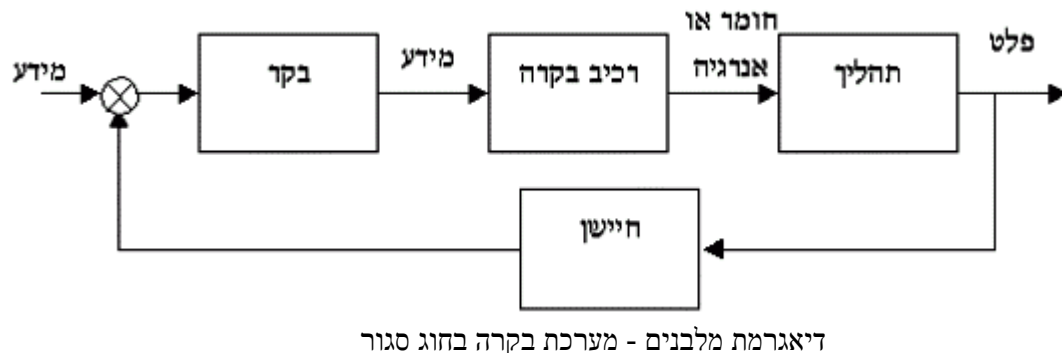
דיאגרמת מלבנים היא שפה מוסכמת לתיאור מערכות בקרה. דיאגרמת מלבנים מורכבת מ:

- מלבנים המתארים רכיב, מערכת או תת-מערכת.
- חצים המציינים משתנים פיזיקליים.

בעזרת מלבנים וחצים ניתן לתאר מערכות בקרה הפועלות בחוג פתוח כך:



סוג הבקרה מוזן במידע המעובד בהתאם להוראות הסוג. לאחר עיבוד המידע אלגוריתם הבקרה מפיק פלט (מידע) לרכיב בקרה המווסת את זרימת האנרגיה או החומר לתהליך המבוקר. ויסות החומר או האנרגיה מאפשר בקרה של פלט התהליך והמערכת.
 תיאור מלבנים "קלאסי" של מערכת בקרה בחוג סגור הוא:



חיישן מודד את אות הפלט של התהליך ומפיק אות הנקרא **אות משוב**. אות המשוב נכנס לעיגול עם הצלב שמשמאל לבקר הנקרא **נקודת סיכום**. לנקודת הסיכום נכנסים הערך שמודד החיישן והערך הרצוי שמספק המשתמש. נקודת הסיכום משווה בין האותות ומפיקה אות הנקרא **שגיאה** לבקר. אלגוריתם הבקרה מוזן בשגיאה המגיעה מנקודת הסיכום. מידע זה מעובד על ידי סוג הבקרה שבבקר הקובע את מצב ויסות זרימת האנרגיה או החומר לתהליך.

חיישנים

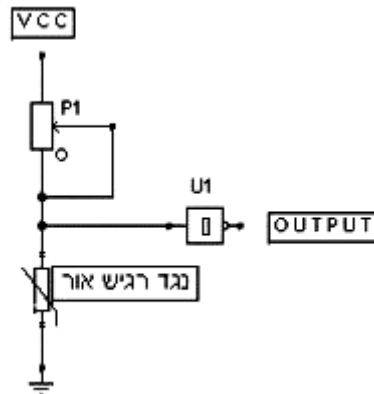
החיישנים (רגשים) כשם כן הם. אלה רכיבים שונים אשר מסוגלים לחוש, או להרגיש, נתונים פיסיקליים שונים ולהמיר אותם לנתון חשמלי. המערכת האלקטרונית תפענח אות זה ותפעל בהתאם. כל המכשירים המודדים נתון פיסיקאלי (טמפרטורה, לחץ, אור, שדה מגנטי וכדומה) כל שהוא משתמשים בחיישן לתרגום הנתון הפיסיקלי לחשמלי.

לפעמים מערכת החישה מוציאה אות מופעל / מופסק, כלומר אות סיפרתי, "0" או "1" לוגי. במקרים אלה חשובה לנו הפקודה עצמה ולא ערך הנתון הנמדד. בפרק הקודם ראינו דוגמא למערכת המדליקה מנורה לאחר ירידת החשכה.

במקרים אחרים המערכת מוציאה אות שהוא יחסי לערך הפיסיקלי הנמדד. האות יעובד על ידי המערכת האלקטרונית להמשך הפעילות. הדוגמא שראינו הוא מד חום רפואי ספרתי.

לפעמים החיישן משמש "רק" להגנת המערכת, כאילו הוא "נתיך". במידה והנתון הפיסיקאלי גבוה מידי החיישן מגלה אותו ומפסיק את הפעולה.

קיימים חיישנים שבהם נערכת כבר ההתמרה לנתונים חשמליים / אלקטרוניים והמוצא מתאים כבר למערכת האלקטרונית. קיימים חיישנים שרק משנים נתון פנימי (לרוב התנגדות אבל לפעמים מתח או זרם) ויש לחברם למערכת חשמלית לתרגום הנתון. כדי להחיש את האמור נזכר בדוגמא של הדלקת מנורה ברדת החשכה מהפרק הקודם.



ישנן רגשים בהן יש לנו רק את הנגד הרגיש לאור (שהוא למעשה נגד שערכו משתנה בהתאם לכמות האור הנופלת עליו) ועלינו לבנות את המערכת האלקטרונית בנפרד. לעומת זאת קיימות מערכות שכוללות כבר את המערכת האלקטרונית הניתנת לרוב לכויל והיציאה היא אות לוגי או אנלוגי מתאים. כאמור ישנם הרבה מאוד סוגים של חיישנים הממירים סוגים שונים של נתונים פיסיקליים. העמודים הבאים נראה מספר חיישנים ושימושיהם השונים. במקביל נראה גם חיישנים ממערכת "LEGO" באותם סוגים שיש.

חיישן גילוי אור

במקומות רבים קיימת דלת אוטומטית. זאת דלת הנפתחת ברגע שמתקרבים אליה ונסגרת אחרי שאנו עוברים. האחראי לפעולת הדלת הוא חיישן אור המסוגל לגלות שינויים בעוצמת האור המגיעה עליו. דוגמא של חיישן:

WTA24, Long & Short
Range M12 Photo
Detectors



חיישנים אלו כוללים את המערכת החשמלית / אלקטרונית ומוציא פקודה לוגית המאפשרת פתיחת הדלת. המערכת האלקטרונית מבטיחה זמן מינימלי של "דלת פתוחה" כדי שהדלת לא תיסגר על האדם האחרון שיעבור. דוגמאות נוספות לסוג זה של חיישן:



חיישן זה יכול להוציא אות אנלוגי התלוי בעוצמת האור המגיע אליו. על ידי שימוש בחיישן זה אנו יכולים לקבל, בעזרת מחשב כמובן, גרף המראה את השינויים בעוצמת האור. חיישנים מסוג דומה יכולים לשמש במנורה הנדלקת ברדת החשכה (שימוש אפשרי אך לא כל כך מקובל בגלל מחיר החיישן).

חיישן שבירת קרן

זה סוג דומה של חיישן המבוסס על שבירת קרן אור. החיישן שולח קרן אור, זו מוחזרת ממראה המותקנת ממול. אי החזרת אור, או הופעת אור משנה את מוצא היחידה. חיישן כזה יכול להיות מצד אחד של סרט נע ואילו המראה מצדו השני. הופעת הקרן החוזרת יכולה, למשל להפעיל את המסוע. הפסקת ההחזרה תעצור אותו. תהליך כזה בדיוק מתבצע ליד קופה במרכול כשהמוצרים מונחים על המסוע וזה נע כאשר ליד הקופאית אין מוצרים. תהליך הפוך קורה במעלית. החיישן נמצא בצד אחד של הדלת ואילו הראי נמצא בצדו השני. אי החזרת האור מראה שמשווא נמצא בפתח ולכן דלת המעלית לא תיסגר. תמונת החיישן :

Direct Detect 500mm Sensing Range
Detect Laser Sensor



שימוש נוסף למערכת כזאת היא לספירת מוצרים. המוצרים מועברים על סרט נע, בשורה אחת. כל אי החזרה מראה שמוצר אחד עבר ומתבצעת ספירה על ידי קידום מונה.

חיישן עוצמת אור

בשתי הדוגמאות הקודמות ראינו יחידות מושלמות. בתמונה הבאה נראה חיישן בלבד.



החיישן הוא למעשה נגד שהתנגדותו משתנת בהתאם לעוצמת האור הנופל עליו. אנו חייבים לשלב נגד זה המערכת אלקטרונית כדי לזהות את המצבים השונים. דוגמא אופיינית לשימוש בחיישן זה היא בתאורה הנדלקת ברדת החשכה, כמו שלט של כתובת שראינו בתחילת הפרק או במנורה ביתית הנדלקת בחושך. אם נסתכל במנורה כזו נוכל לראות את החיישן. בשימוש כזה המערכת פועלת בצורת ON / OFF (הפעלה וכיבוי). מערכת משוכללת יותר תאפשר לנו להשתמש בחיישן כזה לקבלת מידע מספרי על עוצמת התאורה לצורך כיוון נתוני צילום במצלמה. בכל המצלמות האוטומטיות וכמובן בדיגיטאליות החיישן מובנה במצלמה.

חיבור חיישן כזה למחשב עם תוכנה מתאימה תיתן לנו גרף של עוצמת התאורה לאורך זמן. דיוק הגרף תלוי כמובן במספר הדגימות (קריאות) שניקה ביחידת זמן. ככל שניקה יותר דגימות הדיוק יהיה גדול יותר.

חיישן מאוד דומה משמש לגילוי קרניים אנפרא_אדומות (IR). חיישן כזה נמצא במערכות רבות לקליטת אות משלט רחוק. השלט שולח אות אינפרא_אדום מקודד. החיישן קולט את האות ומתרגם אותו לאות אלקטרוני המוכר על ידי המכשיר.

חיישן טמפרטורה

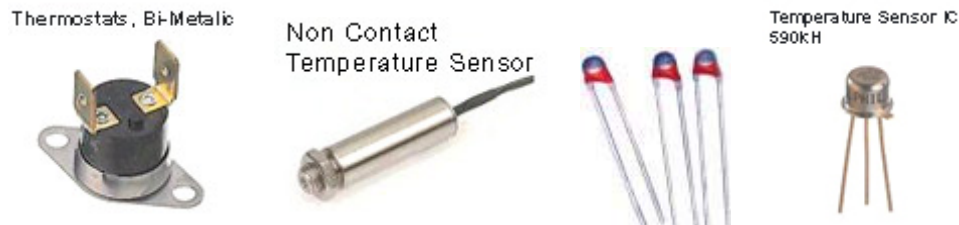
בשימוש יום יומי אנו משתמשים רבות בחיישני טמפרטורה לסוגיהם. למעשה כמעט כל מכשיר שמחמם או מקרר חייב להיות בו חיישן טמפרטורה.

ישנם מספר סוגים עקרוניים של חיישני טמפרטורה. חלקם מבוססים על שיטה של שימוש בצמד טרמי (be-metal). אחרים מבוססים על רכיבים אלקטרוניים שמשנים את התנגדותם בתלות בטמפרטורה, או מתח / זרם המוצא שלהם משתנה בתלות בטמפרטורה. סוג אחר מבוסס על צינור אטום הממולא בגז. התפשטות או התכווצות הגז מפעילה חיישן לחץ כך שהמוצא יחסי לטמפרטורה. שיטה נוספת היא של צמד טרמי ומבוססת על תכונה שבה חיבור של שתי מתכות שונות יוצר מתח חשמלי יחסי לטמפרטורה. כמו כן ישנם חיישנים שניתנים לכיוון וחיישנים שאינם ניתנים לכיוון.

נראה מספר דוגמאות.

במקרים ובמכונות כביסה משתמשים בשיטת הצמד הטרמי. שיטה זו מבוססת על כך שלכל מתכת יש מקדם התארכות שונה בטמפרטורה. מחברים המקביל שתי מתכות בעלות מקדם שונה. כתוצאה מכך בעת שינוי הטמפרטורה הצמד יתעגל. בעזרת מערכת מכנית ניתן לבצע חיבור / ניתוק של מגע חשמלי. בצורת

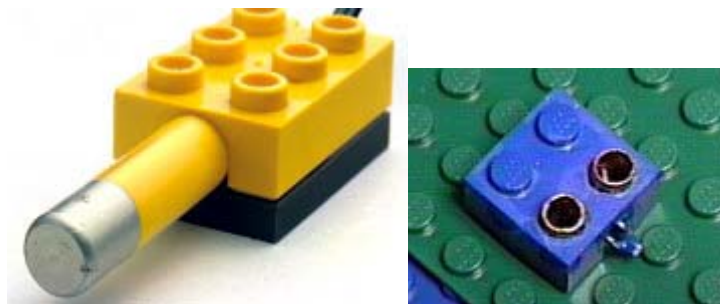
פעולה זו ניתן לרוב לכוון את טמפרטורות ההפעלה והכיבוי הרצויות. שימושים נוספים בשיטה זו הם במגהץ ובהפעלת אורות האיתות ברכב. שיטה של צינור ממולא בגז שימושית לרוב בטמפרטורה גבוהה. משתמשים בה בעיקר בתנורי בישול ובדודים חשמליים לחימום מים. גם בשיטה זו ניתן לכוון את טמפרטורת ההפעלה והכיבוי. חישני טמפרטורה האלקטרוניים דומים בעיקרון הפעולה לחישני עוצמת האור. אלה רכיבים שתכונותיהם החשמליות – התנגדות או מתח / זרם מוצא - משתנות בתלות בטמפרטורה. המערכת האלקטרונית מזהה את השינוי ופועלת בהתאם.



החיישנים האלה שימושיים בהרבה מאוד מערכות ומחליפות למעשה חלק מהשיטות הישנות. נציין במיוחד את הרכיב השמאלי. הוא משמש כמפסק להגנה על מערכות. מרכיבים אותו על רכיב שמתחמם ובמידה והטמפרטורה עולה על ערך מסוים הוא יכול לנתק את הרכיב (ולמנוע נזק) או שהוא יכול להפעיל אמצעי קירור. לדוגמא רכיב כזה יכול להיות מותקן במכונית וכאשר טמפרטורת המים במצנן גבוהה מידי הוא מפעיל את מנוע המאוורר. השיטה של צמד טרמי מבוססת על תכונה פיסיקלית שבמתכות מסוימות בנקודת החיבור שלהם נוצר מתח שתלוי בטמפרטורה. שיטה זו מקובלת בעיקר בתנורים למנהל, אך כיום היא נכנסת יותר ויותר לשימוש בתחומים שונים של מדידת הטמפרטורה. זו שיטה מאוד נוחה וזולה יחסית אף שדרוש מתאם מיוחד. ניתן להשתמש במוליכים עצמם או לחברם לאביזרים שניתן להצמידם למקום הרצוי. ראה דוגמא הבאה.



להלן שתי דוגמאות לחיישנים מסדרת LEGO השמאלי הוא למעשה חיישן הדומה לזה הקיים במד חום רפואי.



חיישן לחץ

חיישן כזה משמש למדידת לחצים למיניהם, כמו למשל לחץ מים, שמן, גז דחוס וכדומה. שוב חיישן הלחץ יכול משמש או כמפסק ON / OFF או להוציא מתח יחסי ללחץ. דוגמת החיישן :

1-60 Bar Pressure Transducers



שימושו של חיישן זה הם כמובן בכל הקשור בנושאי לחץ. לדוגמא במכונת חיישן זה מחובר למערכת השמן וכאשר לחץ השמן יורד מתחת לרמה מסוימת החיישן מפעיל נורת הזהרה. שימוש יומי נוסף בחיישן מסוג זה הוא במכונת כביסה. בשלבי הכביסה המסוימים נפתח ברז החשמלי ומאפשר למים להיכנס. בהתאם ללחץ המים החיישן מורה על סגירת הברז והמשך ביצוע הכביסה..

חיישני סיבוב

אלה חיישנים המסוגלים לגלות את מספר הסיבובים שבוצעו במערכת, או את חלקי הסיבוב.



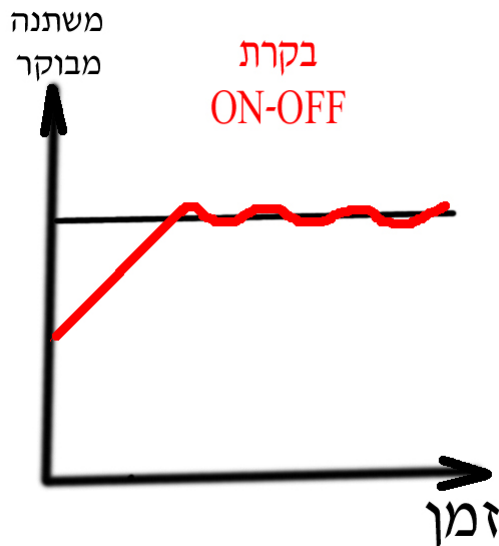
הדיווח יהיה כמובן למערכת הבקרה שמסוגלת לפענח את האותות. כמובן שיש עוד סוגים רבים של חיישנים ולא נוכל במסגרת זו לעבור על כולם.

נציין עוד מספר סוגים שימושיים.

- חישני אינפרא_אדום המשמשים במערכות הזעקה ביתיות .
- חיישני קול למיניהם. אלה למעשה מיקרופונים שמוציאים אות כאשר עוצמת הקול שקלטו עולה על עוצמה מסוימת. שימושיים במערכות הזעקה למשל.
- חיישנים המגלים קול מסוג אולטרסאונד.
- חיישנים לגילוי עשן.
- חיישנים לגילוי גזים שונים.
- חישני לחץ (פיזו_אלקטריים).
- חיישנים לשקילה. אלה חיישנים שהתנגדותם משתנה בהתאם ללחץ עליהם ומשמשים למדידת משקל, בעיקר למשקל כבד.

סוגי בקרה:

בקרה דו מצבית



הגדרת בקרה דו מצבית:

בקרה בעלת הפעלה וכיבוי- ON ו-OFF בלבד, ע"י לחצן אחד- מתג המפעיל ומכבה את המערכת.

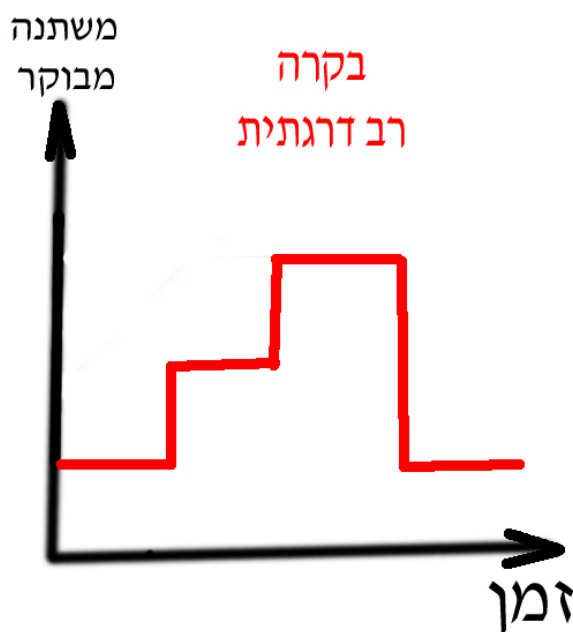
יתרון המערכת:

- עלות נמוכה (זולה במיוחד).
- פשוטה להפעלה ולתיקון (לא מערכת מורכבת)

חסרונות:

- מקטין את אורך חיי המערכת.
- לא מתאים למערכות הדורשות תגובה מהירה ומדוייקת.

בקרה רב דרגתית



הגדרת בקרה רב דרגתית:

בקרה בעלת מספר דרגות קבועות של מתח, (מספר לחצנים)

כאשר ישנם מצבים –

כיבוי, מינימום, ומקסימום מתח.

יתרון המערכת:

- תגובה מהירה ומדוייקת מאוד.
- מערכת אמינה השומרת על אורך חיים רב.

חסרונות:

- יקרה יחסית.
- המערכת מורכבת.

בקרה רציפה (יחסית)

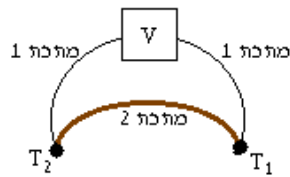
כאשר משתנה מבוקר יכול להשתנות בצורה רציפה כמו כפתור אור ממינימום למקסימום בכל הסקלה. כמו: כפתור ווליום, עמעמם אורות, הברז. הבקרה או הפיקוח על מערכת מתבצע ע"י שליטה על חומר או אנרגיה שהמערכת צריכה לצורך ביצוע התהליך. מערכת בקרה בעלת וויסות רציף מאפשרת לשלוט על קצב הספקת חומר או אנרגיה בכל ערך רצוי בתחום פעולה מסוים.

השפעת הסביבה על מערכת בקרה – הפרעה

אם יש לנו חדר הכולל נורה כמקור אור, מתג בעל שני מצבים להפעלת הנורה, תריס המאפשר כניסה של אור מבחוץ לתוך החדר ו- "זחלן" הקובע את מידת הפתיחה של התריס. מערכת בקרה מתוכננת לפעול להשגת תוצאה רצויה. במקרה שלנו: קבלת עוצמת אור מסוימת. פתיחת התריס גורמת להגדלת עוצמת האור בחדר. התרחשות זו, שמקורה בסביבה החיצונית, המשפיעה על תפקוד המערכת מכונה "הפרעה".

צמד תרמי

שני חוטים העשויים ממתכות שונות ומחוברים בקצותיהם נקראים צמד תרמי. אם הקצוות מוחזקים בטמפרטורות שונות נוצר במעגל מתח חשמלי התלוי בהפרש הטמפרטורות. זה נקרא הפרש פוטנציאלי, שנמדד ע"י מד המתח (המתורגם לערכים של טמפ') משתמשים בזה למשל במפעלי התכה כדי למדוד הטמפ' בתוך התנורים שאין גישה שם לבן אדם.



לוגיקה – תורת ההגיון

לוגיקה היא תורה פילוסופית ומתמטית המאפשרת הסקת מסקנות על סמך כללים (פעולות) לוגיות. במערכות טכנולוגיות משתמשים בכללים לוגיים כדי לאפשר למערכת להגיב לאירועים שונים ללא התערבות אדם. הסקת מסקנות לוגיות מבוססת על ערכם של משתנים לוגיים ופעולות לוגיות. היות וכבר למדת מה הוא משתנה לוגי ומה היא פעולה לוגית נחזור על הדברים בקצרה:

משתנה לוגי:

משתנה לוגי הוא משפט עליו ניתן לומר באופן חד-משמעי אם ערכו אמת או שקר.

דוגמאות:

- היום יום חמישי. משפט זה אמיתי ביום חמישי ושקרי בשאר ימות השבוע.
- מפלס המים במכל ממטר אחד גבוה ממטר אחד ושקרי אם הוא מטר אחד או פחות.
- הטמפרטורה בחדר נמוכה מעשרים מעלות אמיתי אם אכן הטמפרטורה נמוכה מעשרים מעלות ושקרי אם היא עשרים מעלות ומעלה.

פעולות לוגיות:

פעולות לוגיות (או פונקציות לוגיות) מאפשרות להרכיב ממשתנים לוגיים פשוטים, משתנים לוגיים מורכבים יותר לדוגמא, משני המשתנים הלוגיים שבדוגמא ניתן להרכיב את המשתנה הלוגי הבא בעזרת פעולת וגם.

- היום יום חמישי וגם מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד. המשתנה המורכב הזה אמיתי רק כאשר ביום חמישי מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד. פסוק זה שקרי בשאר ימות השבוע וגם כאשר ביום חמישי מפלס המים במכל שווה למטר אחד או פחות.
- ניתן לתאר את הקשר בין שני המשתנים (היום יום חמישי. מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד.) בעזרת הטבלה הבאה הנקראת טבלת אמת:

היום יום חמישי	מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד	היום יום חמישי וגם מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד
שקר	שקר	שקר
שקר	אמת	שקר
אמת	שקר	שקר
אמת	אמת	אמת

במקרים רבים, (כדי לפשט) מייצגים מערכות לוגיות כך:

כל אחד מהמשתנים הלוגיים באות כגון A, B, C.

כאשר ערכו של משתנה הוא אמת מסמנים את ערכו ב 1 וכאשר ערכו של המשתנה הוא שקר מסמנים את ערכו ב 0. במקרה כזה, טבלת האמת של הפעולה וגם (או באנגלית and) תראה פשוטה יותר:

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

בטבלה זו:

- A - היום יום חמישי
- B - מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד.
- C - היום יום חמישי וגם מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד.

דרך נוספת לתאר פעולות לוגיות היא באמצעות סימנים אלגבריים. את פעולת וגם and מסמנים בעזרת $A * B = C$ סימן הכפל ולכן הפסוק המורכב (בעזרת הפעולה and) יראה כך:

פעולות לוגיות נוספות בהן נשתמש הן:
פעולת **או** הנקראת באנגלית **or** ומסומנת לפעמים בעזרת סימן החיבור. טבלת האמת שלה היא:

C	B	A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
1	1	1

לדוגמא חשוב על הצירוף:

- היום יום חמישי A
 - מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד. B
 - היום יום חמישי או מפלס המים במכל גבוה ממטר אחד. C
- $$C = A + B$$

פעולת **לא** הנקראת באנגלית **not** ומסומנת לפעמים בעזרת קו מעל האות המציינת את המשתנה. טבלת האמת שלה היא בעלת שתי שורות בלבד:

B	A
1	0
0	1

- A - היום יום חמישי
 - B - היום **לא** יום חמישי
- או:

$$A = \overline{B}$$

כעת נעבור לדוגמאות טכנולוגיות:

מערכת אזעקה בבית כוללת ארבעה חיישני נפח (זהים) כל חיישן מפיק (0) כאשר הוא אינו חש באדם ו- (1) כאשר הוא חש באדם. לאחר ההתקנה המערכת תוכננה כך שכאשר לפחות אחד מהחיישנים מופעל המערכת תופעל. אם נסמן את ארבעת החיישנים באותיות A, B, C, D ואת צופר האזעקה באות E נקבל כי:

$$D + E = A + B + C$$

כלומר האזעקה תפעל אם חיישן A יופעל, או חיישן B יופעל או חיישן C יופעל או חיישן D יופעל. לאחר זמן מה התלוננו בעלי הבית שלמערכת התראות שווא רבות. הוצע להפעיל את הצופר רק אם שני חיישנים מופעלים בו זמנית. במקרה זה ניתן לתאר את התנאים להפעלת הצופר כך:

$$A * B + A * C + A * D + B * C + B * D + C * D = E$$

תמסורת והגבר

T – תמסורת של כל המערכת

G – תמסורת של רכיב

K – הגבר כללי

A – הגבר של רכיב

H – תמסורת של החיישן

התמסורת: היא תכונה ודבר קבוע לא משתנה, בכל רכיב יש תמסורת, יחידות התמסורת משתנות לפי הרכיב.

Input – r אות המבוא

Output – c אות המוצא

היחס בין אות המוצא לאות המבוא שווה התמסורת של הרכיב
כלומר $G=c/r$

הגבר: לוקח מתח נמוך הופך אותו למתח גבוה. למשל: במע' שמע, כל אות של קול מגביר אותו למתח גבוה
 $A = V_{out}/V_{in}$

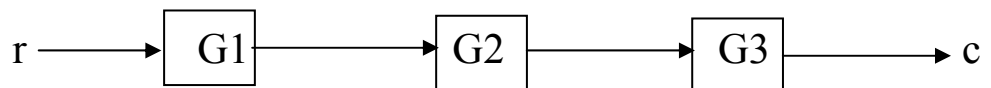
כאשר:

A – הגבר של רכיב

V_{out} – מתח יוצא

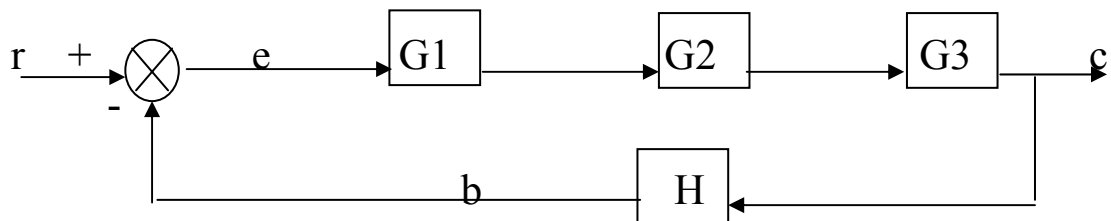
V_{in} – מתח נכנס

תמסורת של מע' בחוג פתוח



תמסורת של כל המע' = $T = c/r = G1 * G2 * G3$
דוגמא: מע' שמע

תמסורת של מע' בחוג סגור



התמסורת לכל המע': $T = \frac{c}{r} = \frac{G}{1 + G \cdot H}$
 G – מכפלת התמסורת בענף העליון (חוג פתוח)

H – תמסורת החיישן (המשוב) $H=b/c$