

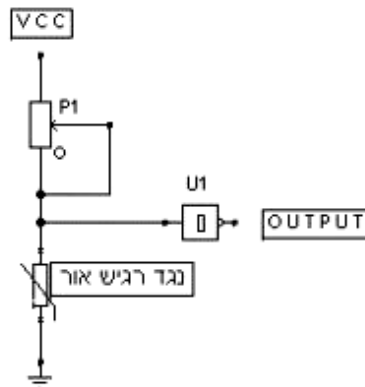
חיישנים

החיישנים אלה רכיבים אשר מסוגלים לחוש, או להרגיש, נתונים פיסיים שונים ולהמיר אותם לאות מידע.

מקובל להשתמש בחיישנים הממירים את המידע לאות חשמלי המועבר למערכת עיבוד שתפענח אותו ותפעל בהתאם.

במקרים מסוימים מפיקה מערכת החישה מוציאה אות סיפרתי מסוג, "0" או "1" לוגי כדי לציין האם הערך הנמדד גבוה או נמוך מערך מוגדר. בדוגמא למערכת המדליקה מנורה לאחר ירידת החשכה. במקרים אחרים, המערכת מפיקה אות שהוא יחסי לערך הפיסיקלי הנמדד. האות יעובד על ידי המערכת האלקטרונית להמשך הפעילות. הדוגמא מד חום רפואי ספרתי.

במקרים רבים, שינוי בערך הפיזיקאלי גורם לשינוי נתון פנימי בחיישן. במקרים רבים השינוי הוא שינוי בהתנגדות אבל לפעמים השינוי הוא של מתח או זרם. לכן כוללת מערכת החיישן מערכת אלקטרונית המבצעת התמרה של המידע לאות חשמלי/אלקטרוני אותו ניתן להזין ישירות לבקר. כדי להחיש את האמור נזכר בדוגמא של הדלקת מנורה ברדת החשכה



ישנן רגשים בהם יש רק 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 לכיול 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.

חיישן גילוי אור

במקומות ציבוריים רבים קיימת דלת אוטומטית הנפתחת ברגע שמתקרבים אליה בני אדם ונסגרת מיד אחרי שעוברים.
 החיישן המגלה את התקרבות האדם והתרחקותו הוא חיישן אור המסוגל לגלות שינויים בעוצמת האור המגיעה עליו. דוגמא של חיישן כזה היא הבאה.

WTA24, Long & Short
Range M12 Photo
Detectors



חיישנים אלו כוללים בדרך כלל את המערכת החשמלית / אלקטרונית המפיקה את המידע "אדם בסמוך לדלת" או "אין אדם בסמוך לדלת". מערכת הבקרה האלקטרונית של הדלת מפעילה את מנגנון פתיחת הדלת כאשר יש אדם בכניסה וסוגרת אותה זמן מה לאחר שהאדם אינו "נראה" על ידי החיישן. דוגמאות נוספות לסוג זה של חיישן הם הבאים.

חיישן זה מפיק אות אנלוגי התלוי בעוצמת האור המגיעה 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 היא הבאה.

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



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, 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) שניקח ביחידת זמן. ככל שניקח 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 ומערכת הבקרה מתרגמת 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 תרמי (Bi-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. כמו כן ישנם חיישנים שניתנים לכיוון וחיישנים שאינם ניתנים לכיוון. נראה מספר דוגמאות.

במקררים, תנורי אפיה ובמכונות כביסה משתמשים בשיטת הצמד התרמי. שיטה זו מבוססת על כך שלכל מתכת יש מקדם התארכות שונה בתוצאה משינוי בטמפרטורה. כאשר מחברים שתי מתכות בעלות מקדם שונה כתוצאה משינוי בטמפרטורה קצה הצמד זז ומשנה את מצבו של מפסק 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.

חיישני טמפרטורה האלקטרוניים דומים בעיקרון הפעולה לחיישני עוצמת האור. אלה רכיבים שתכונותיהם החשמליות – התנגדות או מתח / זרם מוצא - משתנות בתלות בטמפרטורה. המערכת האלקטרונית מזהה את השינוי ופועלת בהתאם.

Thermostats, Bi-Metallic



Non Contact Temperature Sensor



Temperature Sensor IC 590kH



החיישנים האלה שימושיים בהרבה מאוד מערכות ומחליפות למעשה חלק מהשיטות הישנות

נציין במיוחד את הרכיב השמאלי. הוא משמש כמפסק להגנה על מערכות. מרכיבים אלו על רכיב שמתחמם ובמידה והטמפרטורה עולה על ערך מסוים הוא יכול לנתק את הרכיב (ולמנוע נזק) או שהוא יכול להפעיל אמצעי קירור. לדוגמה רכיב כזה יכול להיות מותקן במכונת וכאשר טמפרטורת המים במצנן גבוהה מידי הוא מפעיל את מנוע המאוורר.

השיטה של צמד תרמי מבוססת על תכונה פיסיקלית שבמתכות מסוימות בנקודת החיבור שלהם נוצר מתח שתלוי בטמפרטורה. שיטה זו מקובלת בעיקר בתנורים 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 דוגמה הבאה.

Type K Washer
Thermocouple +350°



Thermocouple, Industrial
Mineral Insulated
Probes, Type K



חיישן לחץ

חיישן כזה משמש למדידת לחצים למינהם, כמו למשל לחץ מים, שמן, גז דחוס וכדומה.

שוב חיישן הלחץ יכול משמש או כמפסק ON / OFF או להוציא מתח יחסי ללחץ. דוגמת החיישן היא הבאה.

1- 60 Bar Pressure
Transducers



שימושיו של חיישן זה הם כמובן בכל הקשור בנושאי לחץ. לדוגמא במכונית חיישן זה מחובר למערכת השמן וכאשר לחץ השמן יורד מתחת לרמה מסוימת החיישן מפעיל נורת אזהרה.

שימוש יום יומי נוסף בחיישן מסוג זה הוא במכונת כביסה. בשלבי הכביסה המסוימים נפתח ברז החשמלי ומאפשר למים להיכנס. בהתאם למפלס המים החיישן מורה על סגירת הברז והמשך ביצוע הכביסה.

חיישן מגנטי

חיישן מגנטי מגלה נוכחות של חפץ פרומגנטי או חפץ ממוגנט. החיישן מסוגל לגלות מתי רכיבים פרומגנטיים, או רכיבים לא מתכתיים הנושאים חלק מתכתי נמצאים במקום מסוים. ניתן להשתמש בעקרון זה לדוגמא כאשר רוצים למדוד מהירות סיבוב של חלק. קובעים על החלק המסתובב מגנט קטן, או בורג מתכתי ומתקינים בסמוך אליו חיישן מגנטי. בכל פעם שהציר ישלים סיבוב אחד, יפיק החיישן אות מוצא. ספירת האותות שמפיק החיישן ביחידת זמן יאפשרו את חישוב מהירות הסיבוב. חיישנים מסוג זה משמשים גם במערכות פונמטיות והידרוליות כדי לחוש את מצב הבוכנה.

Magnetic Proximity
Switch, V3 Microswitch
Style



חיישן מגנטי

שימוש ביתי בחיישן כזה הוא במערכות אזעקה. מצמידים חיישן כזה למשקוף הדלת ובדלת קובעים מגנט קטן. כאשר הדלת נפתחת החיישן מגלה שהמגנט הוזז ומפעיל את מערכת האזעקה. חישנים נוספים מתקינים בחלונות או בכל פתח אחר של הבית. חיישן זה זול מאד, אמין מאד וניתן להסוות אותו בצורה כזו שיהיה קשה לגלות את מקומו.

חיישן קיבולי

חיישן זה דומה בפעולתו לחיישן המגנטי. עיקרון הפעולה הוא שהחיישן בודק את השדה הקיבולי שסביבו. כל חפץ הקרוב לחיישן משנה את השדה הקיבולי ולכן החיישן ירגיש בשינוי זה ויוציא אות מתאים.

NAMUR, Inductive
Proximity Sensors

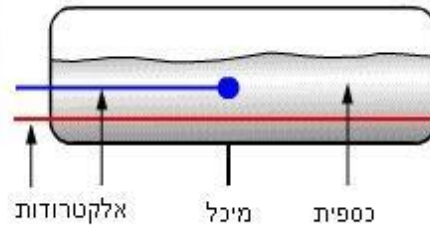


חיישן קיבולי

שימושיו של חיישן כזה הם בעיקר בתעשייה מכוון שהוא יכול לגלות קיום חלק שקוף או חלק לא מתכתי (כגון אבר של אדם) דבר שחיישנים אחרים לא מסוגלים.

חיישן תנודות

זה חיישן שמסוגל לגלות תנודה מעל זווית מסוימת החיישן ירגיש את התנודה וישלח אות מתאים. החיישן המקובל מורכב ממיכל המכיל כספית. במיכל מותקנות שתי אלקטרודות. כמתואר באיור:



חיישן כספית

כספית היא מתכת נוזלית. במצב המתואר באיור יש קצר בין שתי האלקטרודות (דרך הכספית). כאשר החיישן מוטה לאחד מהצדדים, הכספית הנוזלית מצטברת באזור מסוים של החיישן ונוצר נתק בין האלקטרודות. היות וכספית היא חומר רעיל ומזיק לסביבה, קיימים חיישנים שממולאים בגז ולא בכספית.

Non-Mercury Tilt Switch



שוב העיקרון דומה תנועה יוצרת אות חשמלי.

ישנם גם חיישני תנודות המסוגלים לגלות את זווית התנועה. למשל חיישן כספית שיש בו אלקטרודה ראשית ומספר אלקטרודות המורכבות בזוויות שונות ולפי מספר האלקטרודות המקוצרות ניתן לזהות את זווית הסטייה. הדבר שימושי למשל בזרוע של רובוט.

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

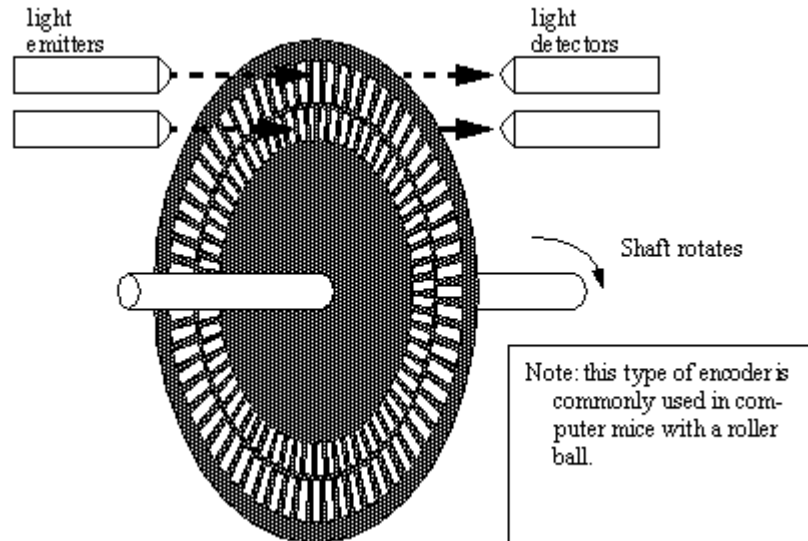
כדי לממש מערכת בקרת הינע, חשוב לחוש את התנועה של ההתקן אשר מסתובב או נע לאורך קו ישר.

הדרישה הינה נפוצה במספר הולך וגדל של יישומים, החל משולחנות כלים X-Y ובוכנות פניאומטיות ביישומים תעשייתיים, ועד לדלתות הזזה ועדשות זום במוצרים מסחריים דרישות מפתח למערכות בקרת הינע כאלה הן שהן יהיו חזקות וקומפקטיות.

שלוש שיטות הנמצאות בשימוש נפוץ לצורך מימוש חיישן תנועה לינארית: רזיסטיבית, אופטית ומגנטית. כדי להפוך תכנוני בקרת הינע לאופטימליים, מהנדסים צריכים לשקול כיצד כל אחת מטכנולוגיות החישה הללו משפיעה על הפעילות הרחבה של מערכת החישה לאורך זמן.

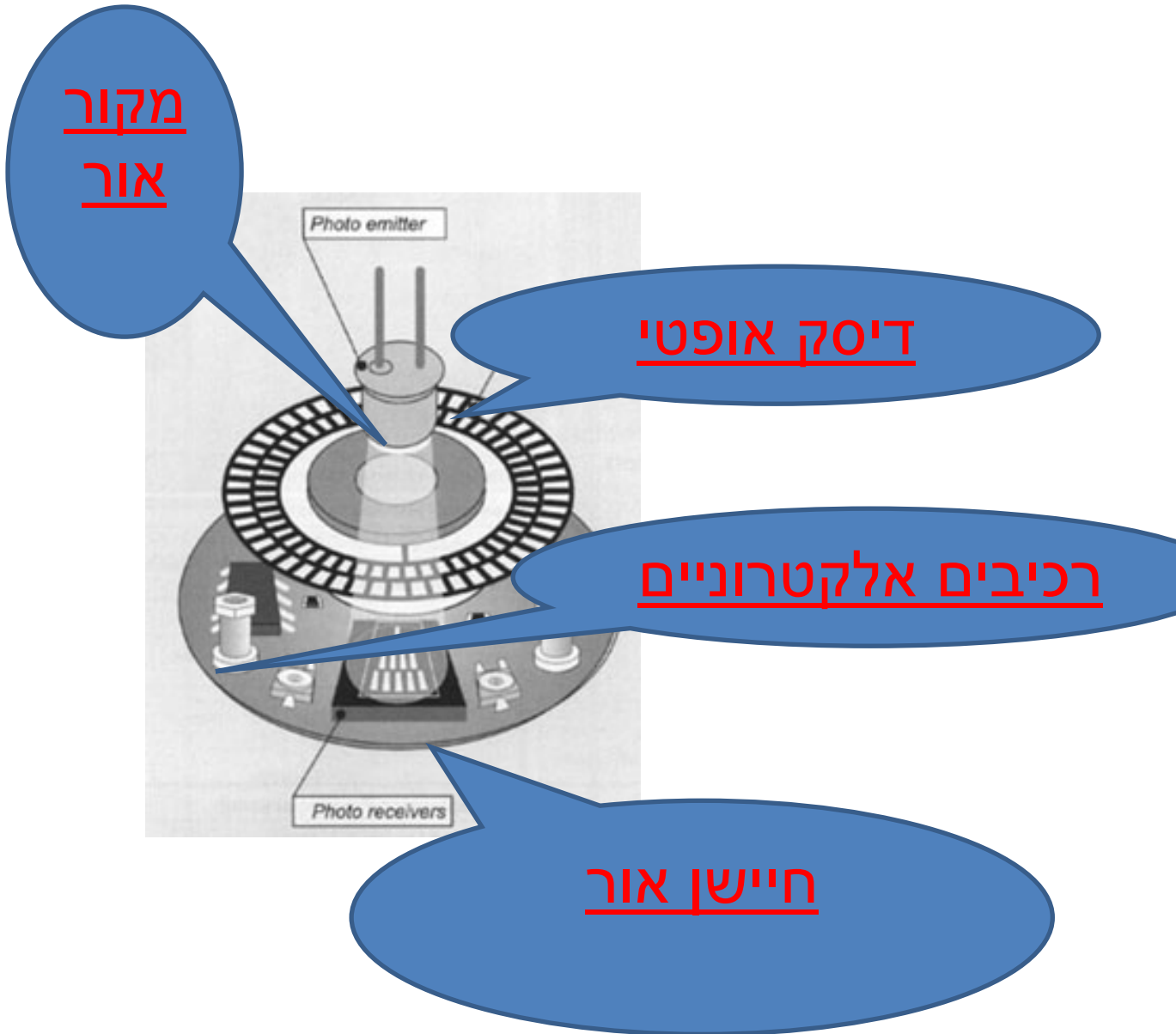
מדידת תזוזה ומהירות בעזרת מקודד הפרשי

Incremental Encoder



מקודד אופטי הפרשי :

מקודד הפרשי מזהה שינוי במיקום/זווית לפי מספר האותות הדיגיטליים המגיעים אליו. הוא אינו יכול לתת מידע על המיקום/זווית ההתחלתיים שלו. כלומר במקודד כזה נקודת תחילת הנקודה היא תמיד נקודת הייחוס – האפס ומה שנמדד הוא השינוי במיקום מנקודה זו. למדידת מהירות אין לכך חשיבות מכיוון שמהירות היא השינוי במיקום מחולק בזמן, כך שהמיקום האבסולוטי אינו מידע הכרחי



הדיסק האופטי:

בנוי בד"כ מדיסקית מחורצת בהיקפה (קו חריצים אחד או שניים).

מצידו האחד מצויה דיודה פולטת אור LED

ובצידו השני מצוי חיישן אור (אחד או שניים) - Photo Transistors

כשהדיסק מסתובב קולט החיישן פולסים של אור וחושך.

הפולסים מתורגמים ע"י רכיב אלקטרוני לרצף של אותות ספרתיים (0 ו 1) והבקר המתוכנת מתרגם זאת לשינוי זוויתי או שינוי מיקום קווי. כך נראה רצף האותות המגיע ממקודד כאשר יש בו פס אחד של חריצים. הרזולוציה וחישוב התזוזה:

כדי לחשב את התזוזה יש לדעת כמה חריצים יש בהיקף הדיסק (עבור תנועה זוויתית) או כמה חריצים יש ביחידת מרחק (ס"מ למשל) עבור תנועה קווית. אם יש בהיקף המעגל N חריצים, כושר ההפרדה (הרזולוציה של החיישן) תהיה

$$\alpha = \frac{360^\circ}{N}$$

כך למשל אם במקודד יש 120 חריצים בהיקפו יהיה כושר ההפרדה שלו:

$$\alpha = \frac{360}{120} = 3^\circ$$

בצורה דומה, אם במקודד קווי הפס האופטי מכיל N חריצים בס"מ, יכולת ההפרדה שלו היא:

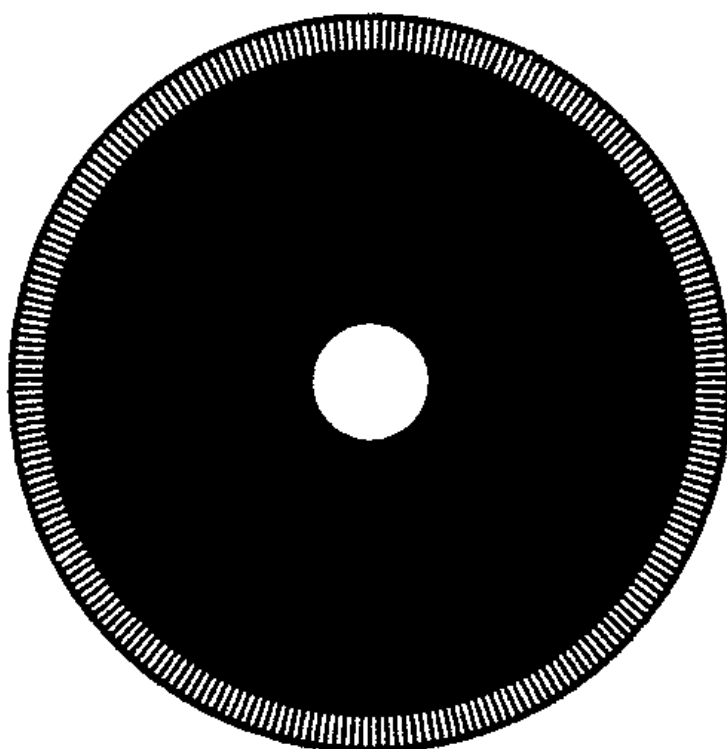
$$d = \frac{1_{cm}}{N}$$

כך למשל אם יש 10 חריצים בס"מ יכולת ההפרדה היא 1/10 ס"מ (מ"מ). למקודד כזה יש מגרעת חשובה: לא ניתן לדעת מהו כיוון הסיבוב/התנועה/המהירות. מכיוון שצורת הפולסים המתקבלים זהה ללא תלות בכיוון התנועה



כדי להתגבר על בעיה זו משתמשים בשני פסי חריצים ושני צמדים של מקורות אור וחיישני אור, או לחילופין בפס חריצים אחד ושני צמדים של מקורות אור וחיישני אור הנמצאים בהפרש זווית מתאים ביניהם

בטכנולוגיות המתקדמות של היום ניתן להגיע לכושר הפרדה מעולה בחישנים כאלו. ראו לדוגמה את הדסקית האופטית הבאה שבהיקפה יש 360 חריצים. וניתן למצוא מקודדים עם דיוק רב יותר.



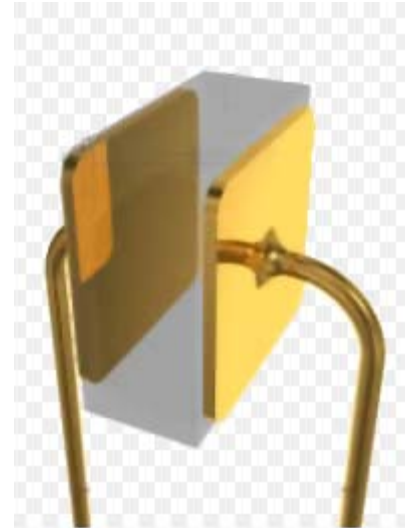
אחד מסוגי החישנים הנפוצים בתעשייה הוא חיישן הקרבה - חיישן שתפקידו לזהות קירבת עצמים ללא מגע.

כאשר החלקים שאת קירבתם יש לגלות הם מתכתיים, משתמשים בד"כ בחיישני קירבה השראתיים (עובדים על עיקרון שדה מגנטי), אך כאשר העצמים אותם יש לזהות אינם מתכתיים – חלקי פלסטיק, גומי, אנשים, החישנים בהם משתמשים הם חיישני קירבה קיבוליים.

עיקרון הפעולה:

כדי להבין כיצד עובד חיישן קירבה קיבולי עלינו להבין מהו קבל.

קבל הוא רכיב חשמלי המורכב משני לוחות מתכתיים סמוכים זה לזה, וביניהם חומר מבודד כלשהו (דיאלקטרי) – כמו אוויר או כל חומר אחר הנחשב מבודד. כאשר מחברים קבל למקור מתח ישר, לוח אחד שלו נטען חיובית והשני שלילית. בין שני הלוחות נוצר שדה חשמלי.



יישומים אופייניים:

מדידת מפלס נוזל במיכלי פלסטיק/ זכוכית ואחרים
 ללא מגע עם הנוזל וללא כניסה למיכל. (למים למשל מקדם דיאלקטרי גבוה בהרבה מזה
 של פלסטיק ולכן יכול חיישן כזה לזהות הגעת מים או נוזל אחר למפלס הרצוי.
 זיהוי מיקום חלקים בפסי ייצור, גם אם החלקים אינם מתכתיים, וללא מגע בהם.

יתרונות החיישן הקיבולי:

1. יכולת זיהוי קירבה של חומרים מתכתיים ולא מתכתיים כאחד.
2. יכולת זיהוי ללא מגע ודרך מחיצות אטומות.
3. מתאים לזיהוי נוזלים, תפזורות, וחומרים שקופים

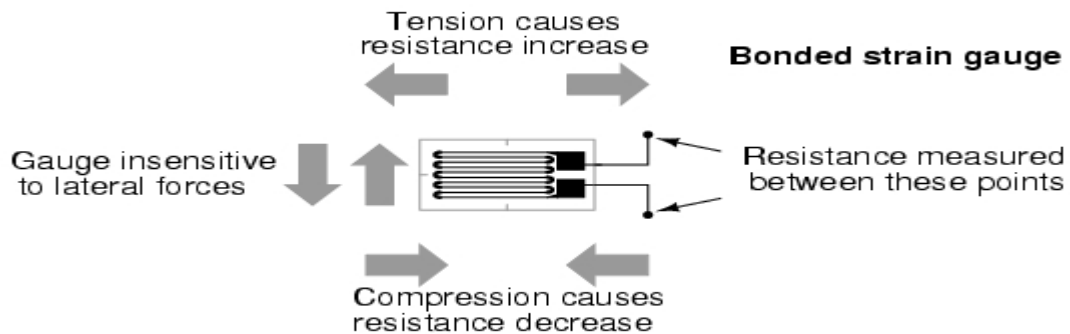
מגבלות החיישן הקיבולי:

1. מרחק יעיל לזיהוי קרבה – קטן (מס' מ"מ עד מס' ס"מ).
2. יכולת לזהות רק חומרים שהמקדם הדיאלקטרי שלהם שונה בהרבה מזה של אוויר.
3. זמן תגובה איטי יחסית, כך שאינו מתאים למדידות בהן משתנה מיקום המטרה בקצב מהיר מאד.
3. יש לכייל את החיישן לזיהוי חומר מסוג ספציפי כי כל חומר אחר יגרום למוצא שונה של החיישן עבור קרבה זהה.
4. רגיש ללכלוך המצטבר על פני ראש החיישן, מכיוון שגם הלכלוך משפיע על מקדם הדיאלקטרי של הקבל.

מתמר הוא מכשיר שממיר מגודל פיזיקאלי אחד למשנהו. מד מעוות הוא מתמר הממיר מהגודל הפיזיקאלי "לחץ" לגודל הפיזיקאלי "התנגדות" וע"י כך ניתן (על ידי מעגל מתאים כמובן) להמיר את הלחץ הדם לאות חשמלי.

העיקרון עליו מבוסס המד מעוות הוא שאם פס של מתכת מוליכה נמתח הוא יתארך ויעשה דק יותר וכאשר יתכווץ יתקצר ויעשה רחב יותר, מה שיגרום לשינוי בהתנגדות פס המתכת.

איור א'



כל עוד הלחצים נשמרים בתחום האלסטיות של המתכת (כלומר עד כמה היא יכולה להתרחב/להתארך) פס מתכת זה יכול לשמש כמכשיר מדידה ללחץ המופעל עליו.

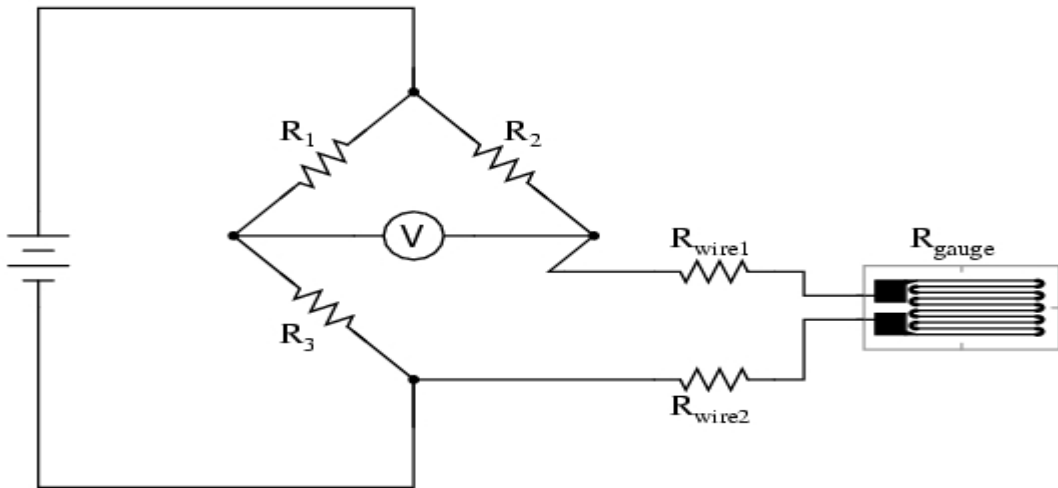
מד המעוות המצוי ביותר הוא מד מעוות מתכתי משולב שמורכב משני חוטים דקים או רדידים כאשר כל חוט דק או רדיד מתכתי הפרוש בצורת רשתית. הצורה הרשתית מעצימה את כמות החוט המתכתי או הרדיד המתכתי למתיחה בכיוון הנגדי כאשר החלק הנגדי של הרשת מוקטן כדי להקטין את השפעת המתח הגזור. הרשת מקושרת עם תמיכה דקה שנקראת הנשא. הוא מקושר ישירות למדגם מייצג כלומר המתיחות שמורגשת ע"י המדגם מתורגמת ישירות למד מעוות שמגיב עם שינוי ליניארי ביחס למתיחות בהתנגדות חשמלית.

מדי מעוות הם בדרך כלל עם ערך נורמאלי שבין 30 ל 3000 אום, כאשר 120, 350 ו 1000 אום הם הערכים הכי שכיחים כיום.

מד מעוות מיועד למדידת שינויים קטנים בלחץ, זאת מכיוון ששינויים גדולים בלחץ יכולים לעוות את החומר ממנו הוא עשוי בצורה תמידית, דבר שעלול לעוות את דיוק המדידה ואף להרוס את המכשיר.

מכיוון שהשינויים בלחץ קטנים אנו משתמשים בגשר ויטסטון שמורכב ממקור כוח וארבע ענפים בעלי התנגדות. כאשר הגשר מאוזן המתח שבין שתי קצוות הגשר שאינם מחוברות למקור כוח(המסומנות בצהוב) שווה לאפס וכאשר יש שינוי מאוד קל בהתנגדות של אחד מהנגדים הוא מתורגם ישר לשינוי במתח שבין שתי הקצוות. שינוי זה נמדד בעזרת הוולטמטר(המסומן ב V)

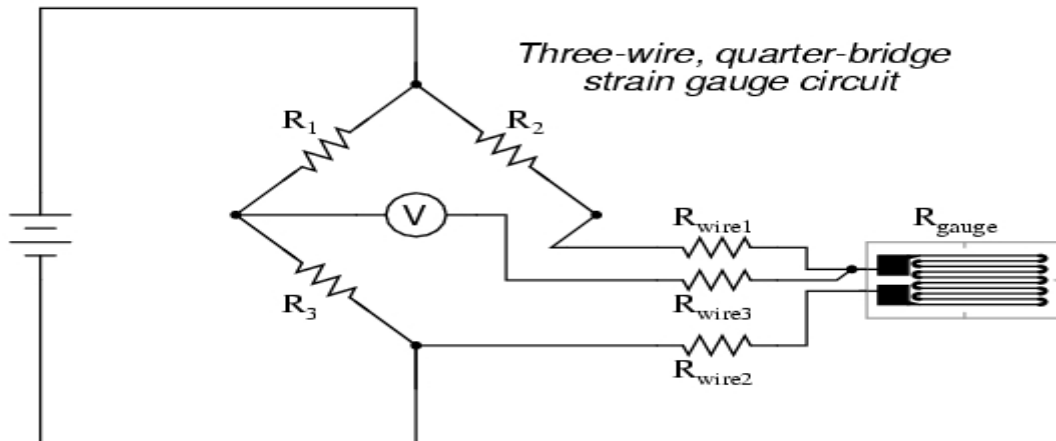
איור ב'



הבעיה הקיימת היא שהתנגדות החוטים המשתלבים לתוך המד מעוות משפיעה גם על החלק התחתון של הגשר מה שיתפרש בטעות כמובן ע"י הוולטמטר כשינוי במתח וע"י כך כשינוי בלחץ המופעל על המד מעוות, למרות שלא קיים כזה.

בכדי לצמצם את בעיה זאת ניתן לחבר חוט רדיד שלישי ישירות מאחת מזרועות הוולטמטר למד מעוות, מכיוון שהתנגדותו זניחה יחסית לזאת של הוולטמטר(שגדולה מאוד ע"פ הגדרה) המתח עליו גם הוא זניח ולכן גם השפעתו על המדידה זניחה. בחיבור זה לנגד העליון אל תהיה השפעה ישירה על המד מעוות ולכן גם לא ישפיע בהתנגדותו על החלק התחתון של המעגל וישאיר את הנגד התחתון בלבד כמשפיע ישירות על המד מעוות ולכן גם ימשיך הנגד התחתון להשפיע על התנגדות החלק התחתון של המעגל, לא פתרון מושלם, אך מדויק פי 2 מהמעגל הקודם.

איור ג'



המצב הרצוי של המערכת הוא שמד המעוות ישנה את ההתנגדות אך ורק בהתאם ללחץ המופעל עליו, אך הוא גם מגיב לטמפרטורה שבסביבתו ולכל מיני הפרעות אחרות הקיימות בגוף, דבר שעלול לפגום באיכות ודיוק המדידה של לחץ הדם וכתוצאה מכך גם בדרך כלל תצוגה שגויה של לחץ הדם מה שאינו רצוי ומנסים להימנע ממנו כמה שיותר.

לכן יצרנים מנסים למצוא פתרונות לבעיית המדידה השגויה:

יצור מד המעוות מחומרים שיש להם רגישות נמוכה יותר לחום, מה שאומנם מקטין את השינוי הנגרם כתוצאה מחום, אך לא מעלים אותו.

פתרון נוסף הוא הוספת מד מעוות נוסף, שממוקם בצורה מאונכת למד מעוות המודד. מד מעוות זה מכונה מד דמה מכיוון שבגלל מיקומו יש ללחץ עליו השפעה מועטה ביותר אך לטמפרטורה יש אותה השפעה. לכן, השפעת הטמפרטורה מתבטלת בין שניהם ויוצרת מעגל בו לטמפרטורה השפעה זניחה הרבה יותר.