

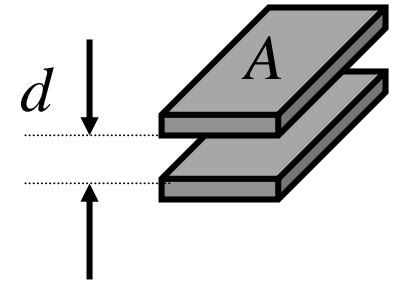
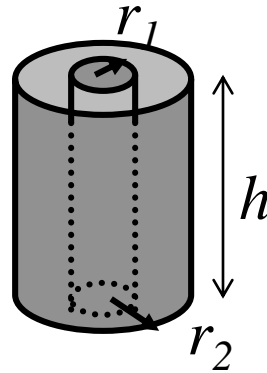


חיישנים קיבוליים

קיבולת

הקיבולת היא פונקציה של הגיאומטריה והחומר הדיאלקטרי בין האלקטרודות.

$$C = \frac{Q}{V} = C(\text{Geometry}, \epsilon)$$

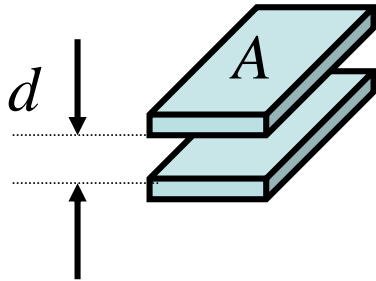


$$\text{Farad} = \frac{\text{Columb}}{\text{Volt}} = \frac{\text{Amp} * \text{sec}}{\text{Volt}}$$

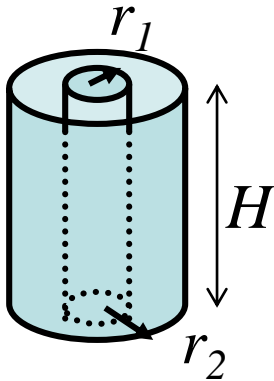
• סדר גודל של קבל: 1-500pF



תלות הקיבולת בגיאומטריה



• קבל מקבילי (לוחות): $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$



• קבל גלילי: $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi H}{\ln(r_2 / r_1)}$

ϵ_0 קבוע דיאלקטרי של ואקום $\epsilon_0 = 8.85 \text{ pF} / \text{m}$
 ϵ_r קבוע דיאלקטרי יחסי

• באוויר $\epsilon_r = 1$

• במים $\epsilon_r = 88$ ב- 0°C $\epsilon_r = 55$ ב- 100°C



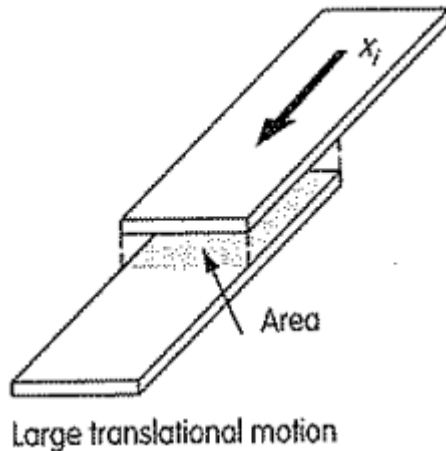
מדידות עם חיישנים קיבוליים

- חיישן קיבולי: מתאים למדוד כל תופעה שמשנה

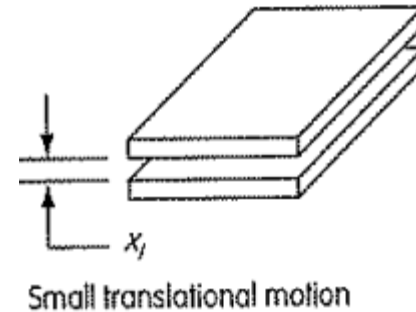
1. את הגיאומטריה (למשל: A , d , H)

תזוזות גדולות:

משנים את שטח החפיפה A



תזוזות קטנות: משנים את d



2. או את המקדם הדיאלקטרי:

- גובה מים
- לחות שנספגת בחומר הדיאלקטרי
- אחוז מים בשמן



קבל גלילי למדידת גובה נוזל

- חיישן קיבולי גלילי למדידת גובה נוזל

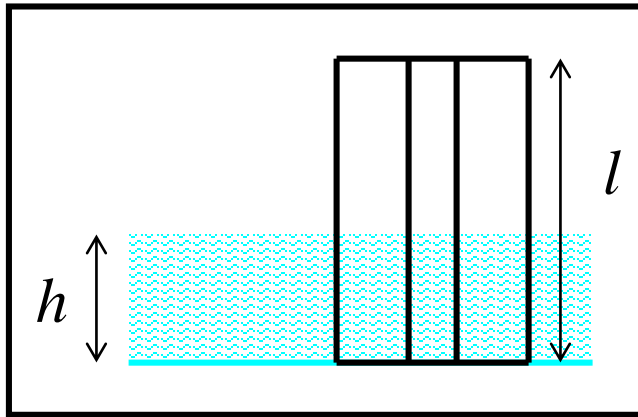
– קבלים במקביל (אותו מתח):

$$C(h) = C_{liquid}(h) + C_{air}(l - h)$$

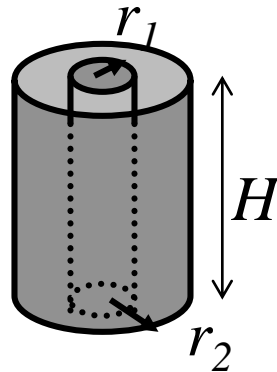
$$C(h) = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(r_2 / r_1)} [h\epsilon_{liq} + (l - h)]$$

$$C(h) = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(r_2 / r_1)} [l + h(\epsilon_{liq} - 1)]$$

$C(h)$ תלוי לינארית ב- h

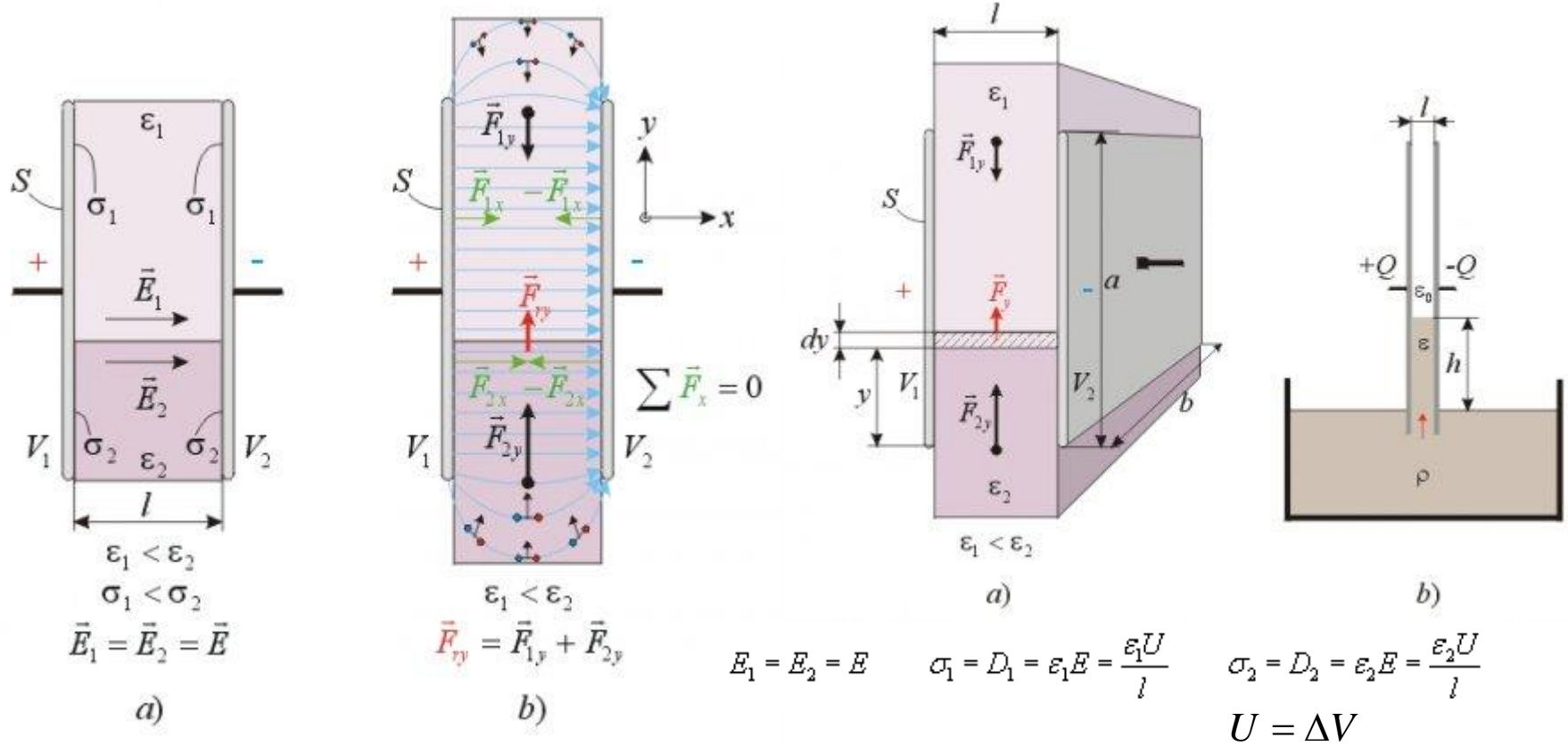


$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi H}{\ln(r_2 / r_1)}$$



Two different dielectric layers in parallel

Errors resulting due to electrical forces



Although the E-field intensities are identical, the electric displacement $D = \epsilon E$ and surface charge densities σ on the plates touching the different dielectrics will be different (and there will be net force in y direction).



חיישן קיבולי למדידת אחוז מים בשמן

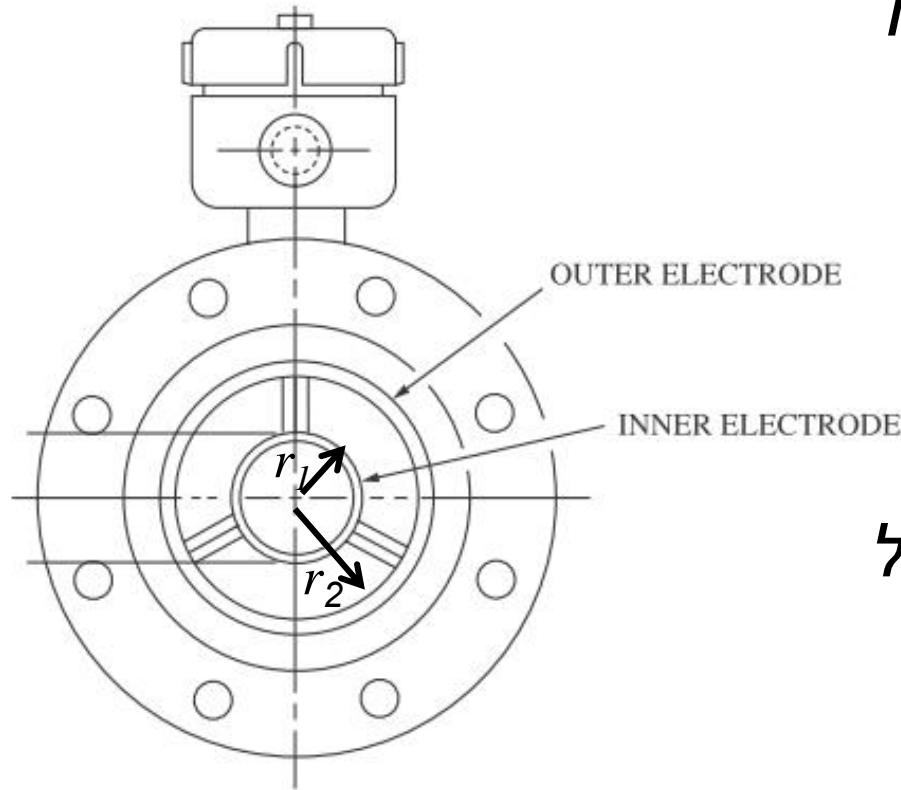


FIG. 8.39b

Flow-through water-in-oil detector utilizing two concentric capacitance electrodes. (Courtesy of Endress+Hauser.)

- המקדם הדיאלקטרי של שמן נמוך (~2) יחסית למים
- חיישן קיבולי שמשמש למדידת אחוז המים בשמן

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi H}{\ln(r_2 / r_1)}$$

- אם אחוז השמן גבוה, הקיבול יורד
- כשהקיבול הנמדד יורד מסף מסוים מתקבלת התראה והזרימה מוסטת



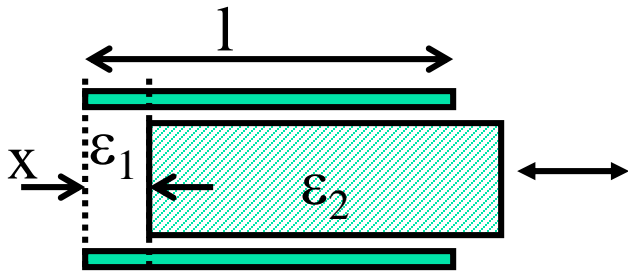
מידות עם חיישנים קיבוליים - קבל לוחות

■ חיישנים קיבוליים מקבילים

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad S_x \triangleq \left. \frac{dC(x)}{dx} \right|_{x=0}$$

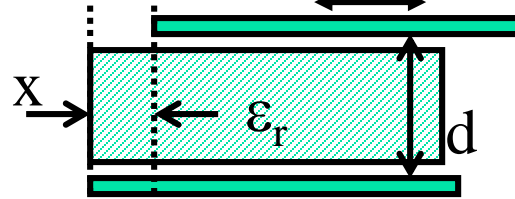
- דיאלקטרי משתנה

Variable dielectric



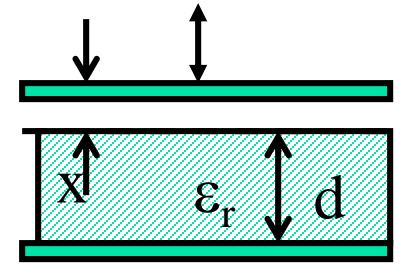
- שטח משתנה

Variable area



- מרחק משתנה

Variable separation



(חיישן לחץ $C=KP$)

$$C = \epsilon_0 \frac{w}{d} (\epsilon_2 l + x(\epsilon_1 - \epsilon_2))$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{w(l-x)}{d}$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d+x}$$

$$S_\epsilon = -\epsilon_0 (\epsilon_2 - \epsilon_1) \frac{w}{d}$$

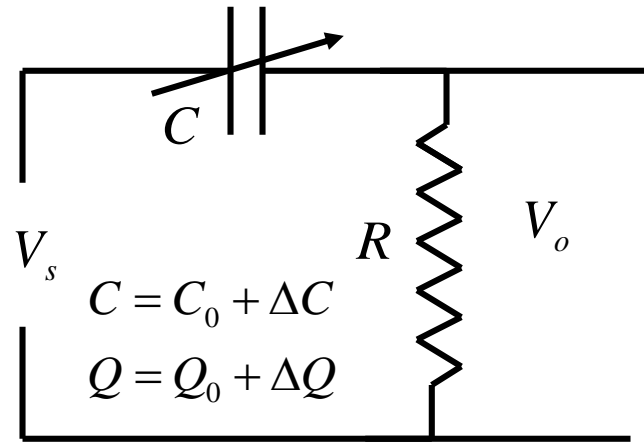
$$S_A = -\epsilon_0 \epsilon_r \frac{w}{d}$$

$$S_d \approx -\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d^2}$$



פונקצית תמסורת של מעגל RC לחיישן קיבולי

שים לב – הקבל הוא המשתנה מתח אספקה ישיר



• אופני מדידה:

– מטען על הקבל

$$\frac{\Delta Q(s)}{\Delta C(s)} = \frac{V_s}{1 + \tau s}$$

• פונקציית התמסורת (אחרי לינארזציה)

• מערכת מסדר ראשון מעביר נמוכים עם (LPF)

$$\tau = RC_0$$

$$C_0 V_s = Q_0$$

$$V_s = V_C + V_R$$

$$C V_s = C V_C + C V_R$$

$$\rightarrow C V_s = Q + C R \dot{Q}$$

• שינויים מהירים ב-C לא יגרמו לשינוי ב-Q (כי Q נוצר מאינטגרציה של הזרם)

– מתח יציאה $V_o = R \dot{Q}$

$$\frac{V_o(s)}{\Delta C(s)} = \frac{V_s}{C_0} \frac{\tau s}{1 + \tau s}$$

• פונקציית תמסורת
 • מערכת מסדר ראשון מעביר גבוהים (HPF)

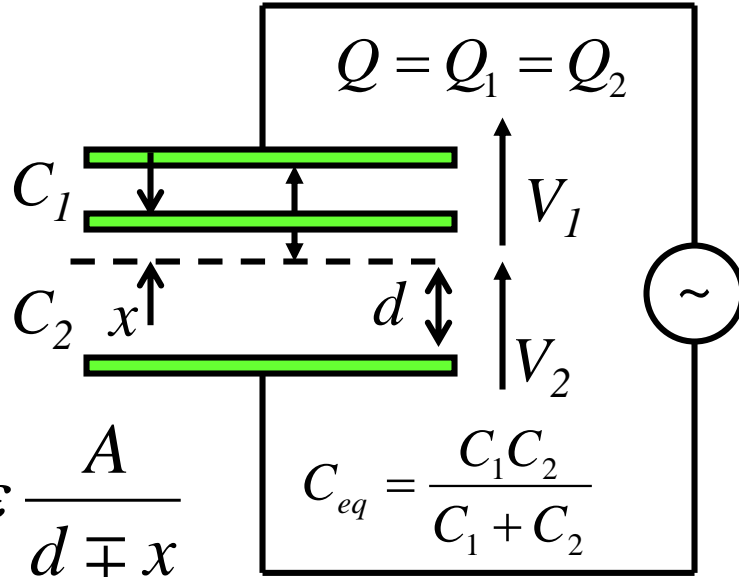
הערה: עדיף להשתמש בגשר!!!
 כולל מתח אספקה חילופין.

• לא מאפשר מדידות סטטיות



לינאריות של מדידת מרחק

חיישנים קיבוליים דיפרנציאליים



$$C_{1,2} = \epsilon \frac{A}{d \mp x}$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$V_{1,2} = \frac{VC_{eq}}{C_{1,2}} = V \frac{C_{2,1}}{C_1 + C_2} = V \frac{d \mp x}{2d}$$

$$V_2 - V_1 = V \frac{C_1 - C_2}{C_2 + C_1} = V \frac{x}{d}$$

- לינאריות תלויה ב-:

- גודל המשתנה (מרחק או אורך החפיפה)

- התכונה הנמדדת (קיבולת או אימפדנס $Z_c = 1/j\omega C$)

- האימפדנס לינארי עם המרחק בין הקבלים:

$$Z_c = 1 / j\omega C = (d + x) / j\omega \epsilon A$$

- במידה דיפרנציאלית:

- שינויי המתח סביב האפס

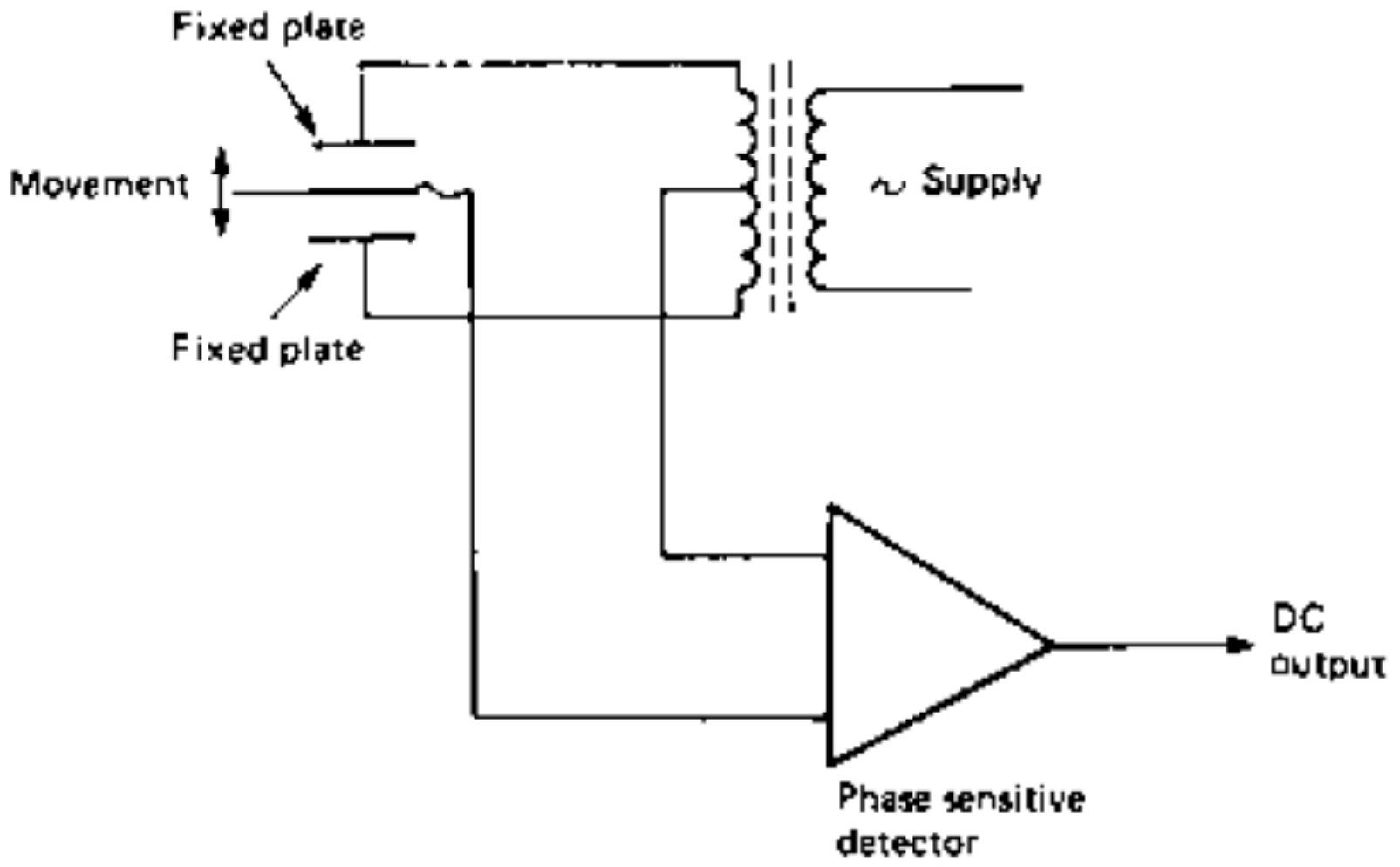
- הקבלים מחוברים ל:

- גשר

- מגבר דיפרנציאלי

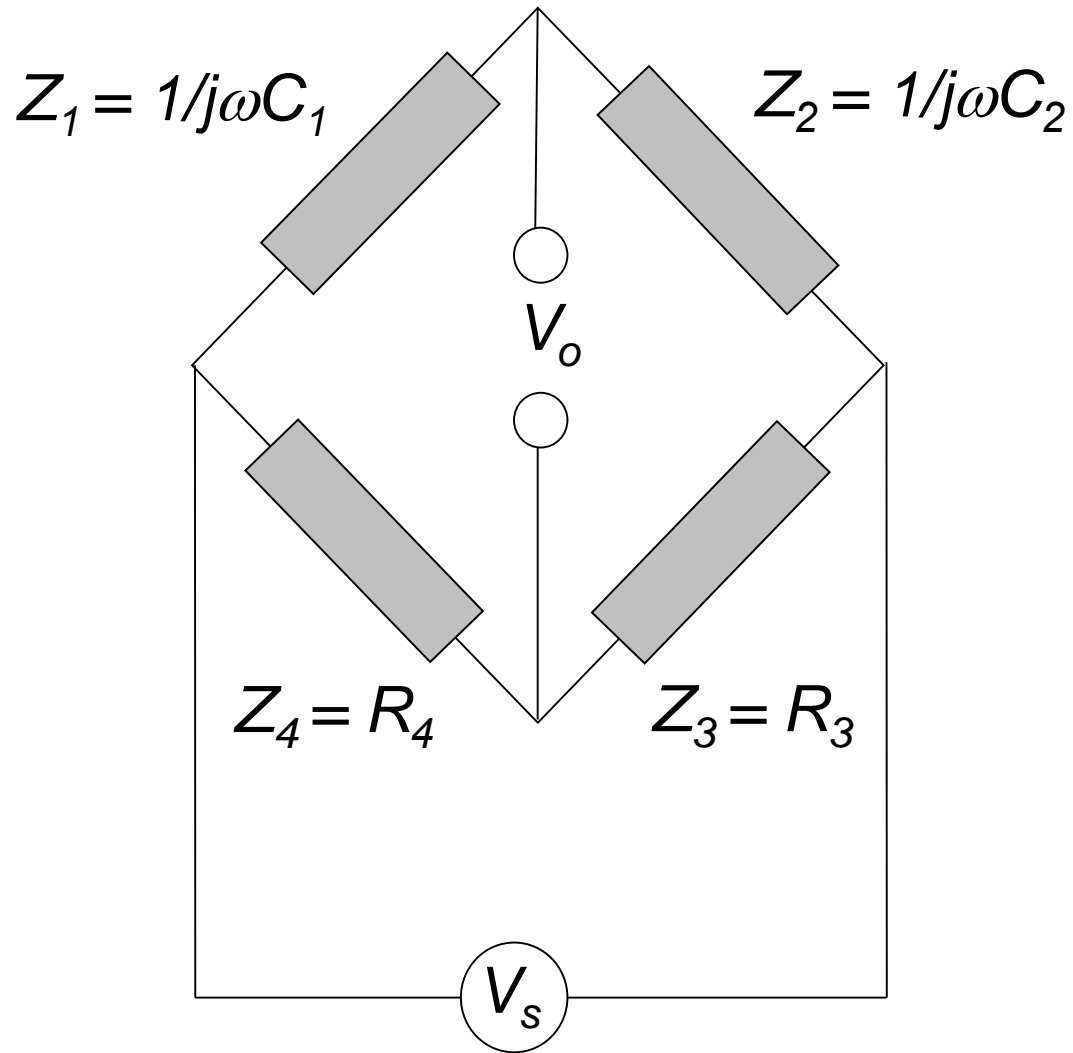


מידת מרחק – מעגל חשמלי (1)



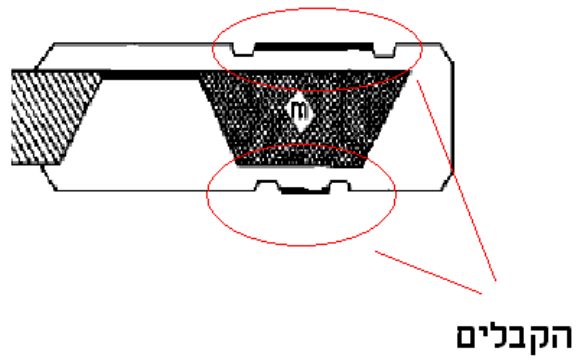
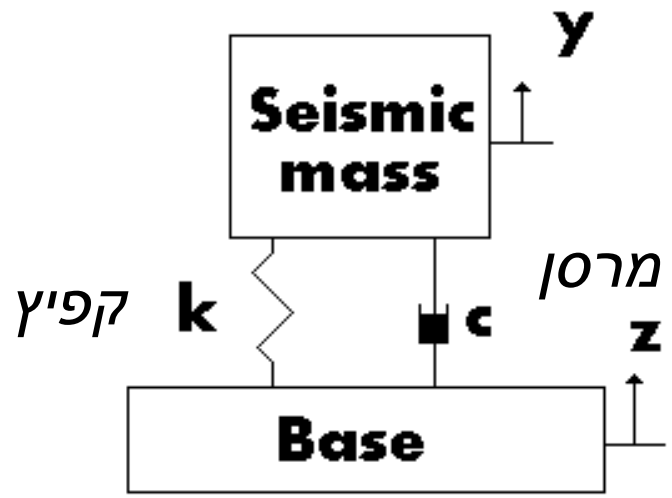


מידת מרחק – מעגל חשמלי (2)





מד תאוצה קיבולי - MEMS



- סכמה כללית של חיישן תאוצה

- הבסיס מחובר לגוף הרועד

- חיישן משני: כולל מסה ידועה

- מחוברת לבסיס בקפיץ ומרסן

- תאוצה a גורמת לתזוזה יחסית

- מקרה סטטי (תאוצה קבועה):

$$x = (m/k)a$$

- דורש מדידת מרחק יחסי $y-z$

- מימוש עם חיישן משני קיבולי:

- שני קבלים משני הצדדים של המסה

- הקיבולת שלהם משתנה כתלות

- בתזוזה היחסית



מד תאוצה קיבולי – MEMS (המשך)

- המסה מחוברת בקפיצים שמאפשרים תנועה יחסית בעיקר בכיוון המדידה
- "אצבעות חישה" יוצרות קבלים משתנים דיפרנציאליים
- תצורה זו מבטיחה דיוק ורגישות גבוהים במדידה של התאוצה לאורך ציר אחד בלבד.

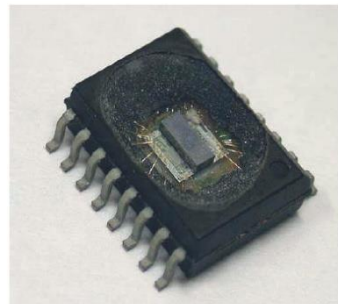
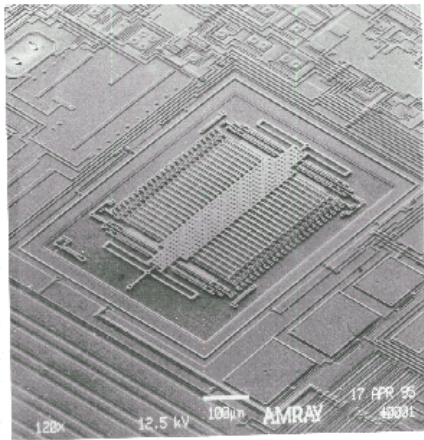
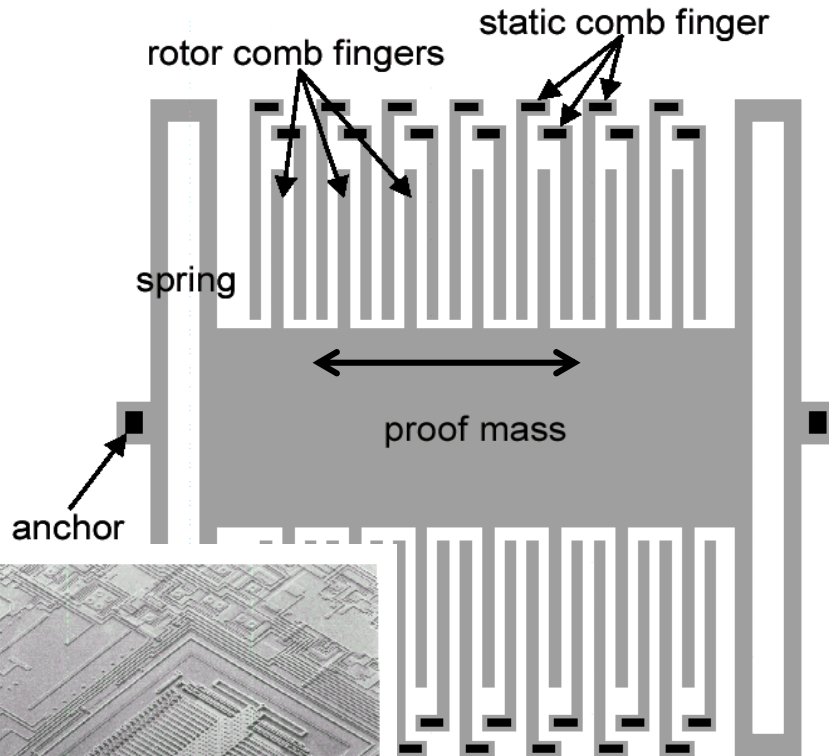


Figure 5: Top view of a decapsulated sensor within SOIC 16 plastic package.

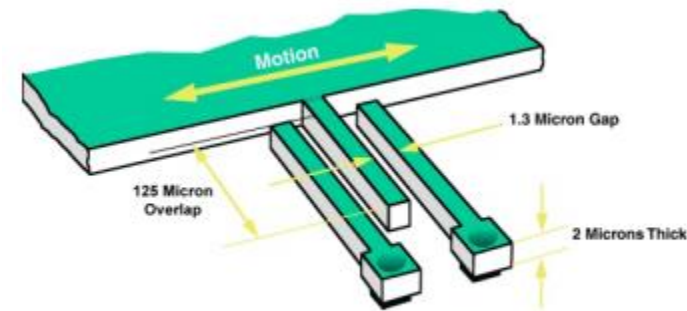


Figure 1. Beam Dimensions for a Single Finger.



חיישנים קיבוליים

מגבלות ויתרונות

• מגבלות:

1. התנגדות פריקה (במקביל)

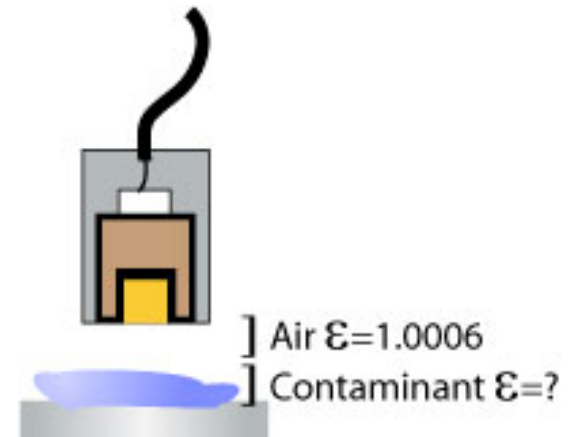
• פתרון: בידוד גבוה

• מגבלה: בעיות העמסה

2. קיבולת משנית

3. רגיש לזיהומים (משנים את

המקדם הדיאלקטרי)



• יתרונות:

1. אין חיכוך // היסטריזיס/

העמסה מכנית

2. השפעת טמפ קטנה

3. כשר הבחנה (10ppm)

• שימושים

– מד תאוצה, מד לחץ

– מדידת גובה נוזל

– מדידת פלקטואציות בזרימה

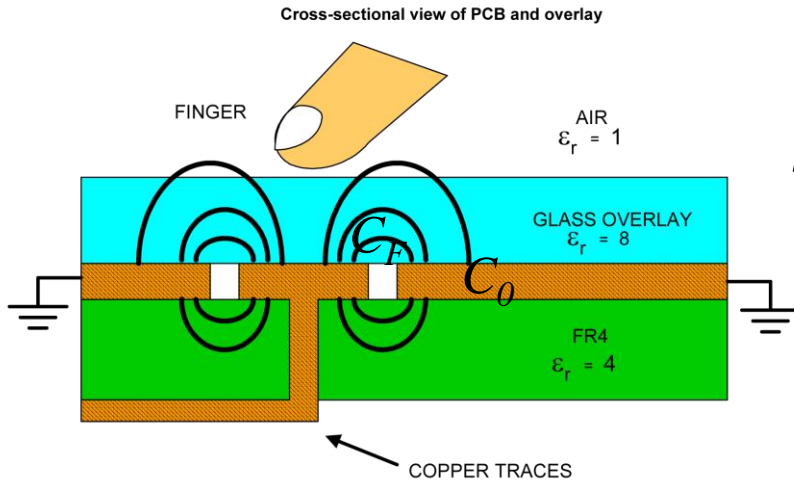
– מדידת אקסצנטריות



חיישני מגע קיבוליים

מפסקי מגע

Human body
(~water) $\epsilon_r=80$



A cross sectional view of a surface capacitive touch sensor to replace a mechanical button.
(courtesy Cypress)

11 May 2022

- מבוסס על תכונות חשמליות (קבוע דיאלקטרי) של הגוף
- טכנולוגיה בסיסית (קיבול משטחי):

- שני קבלים במקביל (בין שני המוליכים באמצע): C_0
- חלק מהשדה זולג לזכוכית ומושפע מהמקדם הדיאלקטרי של הסביבה
- כשמקרבים גוף עם מקדם דיאלקטרי גדול (האצבע) נוצר קבל C_F עם הגוף שמהווה הארקה
- קבל כללי (כשהאצבע בקרבה):

$$C_0 + C_F = C_T$$



חיישני מגע קיבוליים לממשקי אדם מכונה

- טכנולוגיה בסיסית (קיבול משטחי):
 - צד אחד של מבודד (זכוכית) מצופה במוליך
 - מתח מחובר ב-4 קצוות המשטח
 - מגע בצד השני יוצר 4 קבלים שגודלם תלוי במיקום
- בפלאפונים (Apple iPhone) יש שריג של אלקטרודות

