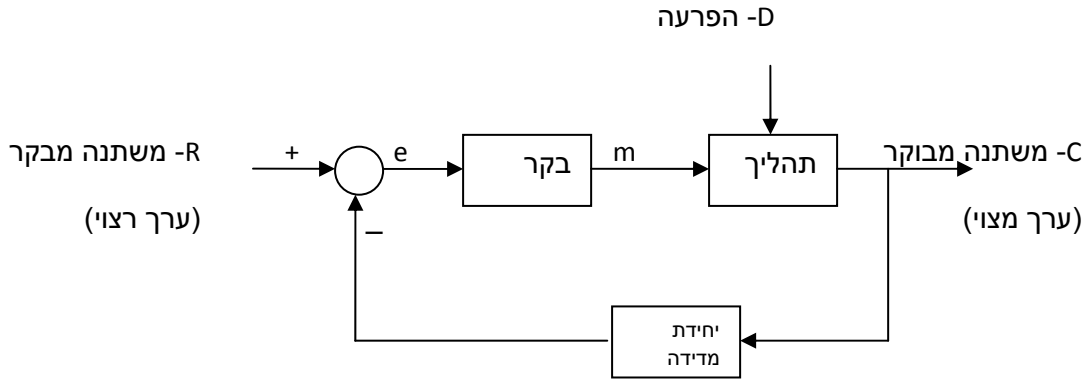


## סוגי בקרה

ניתן לראות מערכת בקרה בתרשים הבא:



תפקיד הבקר לבקר על התהליך על פי השגיאה  $e$  המגיעה מיחידת ההשוואה בין הערך הרצוי למצוי. אות המוצא של הבקר  $m$  יחסי לשגיאה  $e$  ותלוי בפונקציית הבקרה על פי סוג הבקר.

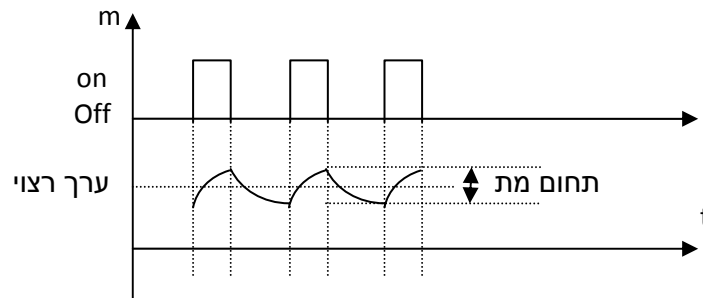
### בקר דו מצבי - on-off

מוצא הבקר יכול להיות באחד משני מצבים כמו: מפסק, שסתום.

במצב on מוכנסת אנרגיה לתהליך ובמצב off מופסקת האנרגיה לתהליך.

בקרה זו היא הפשוטה ביותר ונפוצה במכשירים כמו: מגהץ, טוסטר, מזגן, מקרר ועוד.

בדרך כלל בקר on-off מגיע עם תחום מת המאפשר לתהליך לנוע בין שני ערכים סביב הערך הרצוי וכך מונע שינויים מהירים בבקרה.



## בקרה פרופורציונאלית – בקרה P

אות מוצא הבקר יחסי לשגיאה, משואת הבקר :

$$m = K \cdot e + M_0$$

K- הגבר הבקר

$M_0$  - קבוע הניתן לכונון וכיול המערכת כאשר השגיאה שווה ל-0

מושג תחום פרופורציונאלי PB (Proportional Band) מוגדר:

$$PB = \frac{100\%}{K}$$

PB הוא השינוי ב-e ב-% הדרוש להעביר את m מ-0% ל-100%

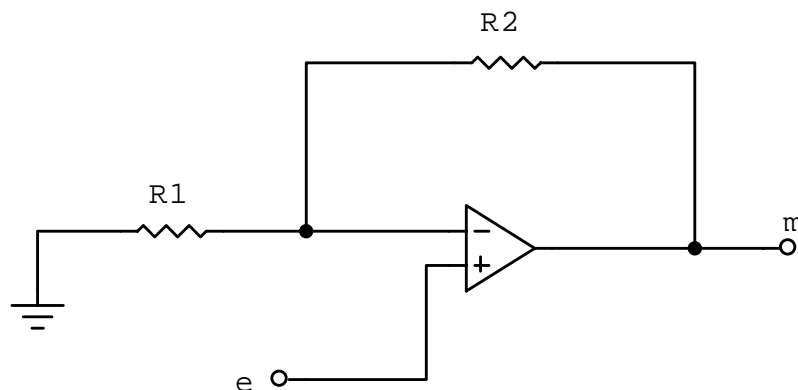
ניתן לתאר את פונקציית הבקר בזמן ובמישור לפלאס עבור  $M_0 = 0$

$$m_{(t)} = K \cdot e_{(t)} \Leftrightarrow M_{(s)} = K \cdot E_{(s)}$$

הערה: השגיאה במערכת בקרה בחוג סגור תלויה בגודל ההגבר K, ככל ש-אגדול יותר השגיאה במצב מתמיד ess קטנה יותר (את השגיאה ניתן לחשב לפי קבועי השגיאה)

מימוש אלקטרוני של הבקר

כל מגבר יכול לשמש למטרה זו, דוגמא מגבר עוקב שהגברו:  $K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



## בקר אינטגרלי – בקר I

מוצא הבקר תלוי באינטגרל השגיאה.

תפקיד הבקר לתקן את השגיאה לאפס (מה שבקר P אינו מסוגל), מוצא הבקר משתנה כל עוד השגיאה שונה מ-0 עד לתיקון מלא (אינטגרל של ערך כלשהו ב-e יגרור עליה או ירידה במוצא הבקר-m עד לתיקון).

הסבר נוסף הוא שהבקר I מעלה את סוג המערכת ע"י הוספת קוטב בראשית בחוג הפתוח ואז לדוגמה מערכת מסוג 0 עוברת לסוג 1 ואז עבור כניסת מדרגה נקבל שגיאה 0 במצב מתמיד.

פונקצית הבקר מישור הזמן ומישור לפלאס

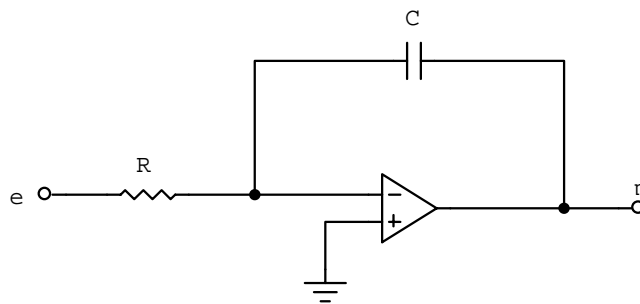
$$m_{(t)} = R \int e_{(t)} dt \Leftrightarrow M_{(s)} = R \cdot \frac{E_{(s)}}{s}$$

-R מהירות האינטגרציה (Reset rate)

לפעמים משתמשים במושג זמן אינטגרציה (Integral Time) השווה ל-  $\tau_I = \frac{1}{R}$

מימוש אלקטרוני של הבקר

מעגל אינטגרטור

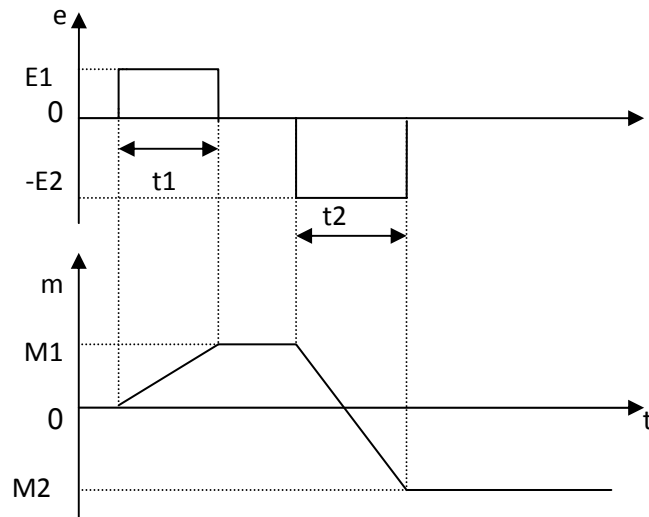


מוצא המגבר תלוי בכניסה לפי הביטוי הבא:

$$m_{(t)} = -\frac{1}{RC} \int e_{(t)} dt$$

את הסימן השלילי ניתן לבטל ע"י מגבר מהפך

תגובת בקר I לגל מדרגה בכניסה



M1 מחושב לפי שטח המלבן + ערך התחלתי

$$M_1 = E_1 \cdot t_1 + 0 = E_1 \cdot t_1$$

M2 מחושב לפי שטח המלבן השני פחות הערך ההתחלתי M1

$$M_2 = -E_2 \cdot t_2 + M_1$$

### בקר פרופורציונאלי אינטגרלי-PI

בקר PI משלב את היתרונות של בקר P ושל בקר I. חלק ה-I מבטל את ההיסט (שגיאה במצב מתמיד) והחלק ה-P נותן תגובה דינמית טובה אפילו אם גורם האינטגרציה R קטן.

פונקצית הבקר היא:

$$m_{(t)} = K(e_{(t)} + R \int e_{(t)} dt) + M_1$$

K- הגבר הבקר

R- מהירות האינטגרציה (Reset rate)

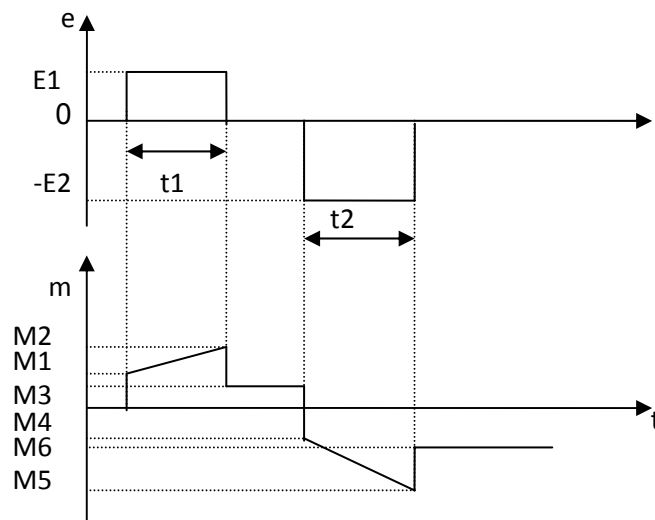
M1- קבוע לכוונון המערכת

M1=0 פונקצית בזמן ובלפלאס כאשר

$$m_{(t)} = K(e_{(t)} + R \int e_{(t)} dt)$$

$$M_{(s)} = K \left( E_{(s)} + R \frac{E_{(s)}}{s} \right) = K \left( 1 + \frac{R}{s} \right) E_{(s)}$$

תגובה לאות מדרגה של בקר PI



חישוב

עבור חלק ה-P נחשב לפי  $\Delta m = K \cdot \Delta e$  כלומר כל קפיצה מהירה מועברת למוצא פי K

עבור חלק ה-I נחשב לפי שטח המלבן ועוד הערך הקודם

$$M1 = K \cdot E1$$

$$M2 = M1 + E1 \cdot t1$$

$$M3 = M2 - K \cdot E1$$

$$M4 = M3 - K \cdot E2$$

$$M5 = M4 - E2 \cdot t2$$

$$M6 = M5 + K \cdot E2$$

### בקרת נגזרת – בקרה D

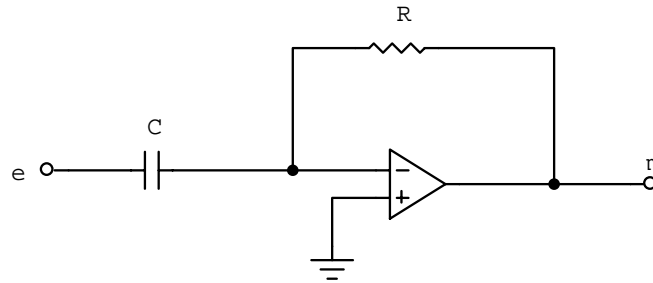
בקרה המגיבה לקצב השינוי בזמן- נגזרת, ככל שקצב השינוי בזמן גדול יותר תפוקת הבקר גדולה יותר

פונקצית הבקר מישור הזמן ומישור לפלאס

$$m_{(t)} = T \frac{de}{dt} \Leftrightarrow M_{(s)} = T \cdot s \cdot E_{(s)}$$

Derivative time – מקדם הנגזרת – T

מימוש אלקטרוני של הבקר ע"י גוזר



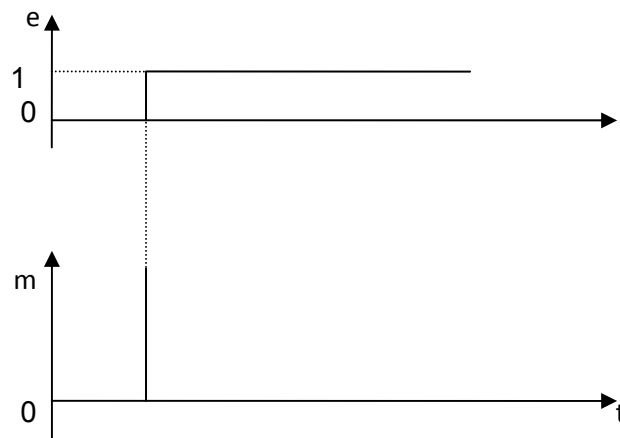
מוצא המגבר תלוי בכניסה לפי הביטוי הבא:

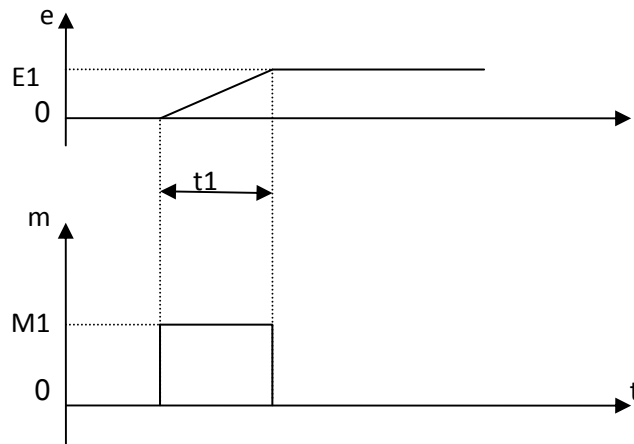
$$m_{(t)} = -RC \frac{de}{dt}$$

את הסימן השלילי ניתן לבטל ע"י מגבר מהפך

תגובה לאות מדרגה

המוצא הבקר מתקבל גל הים בזמן השינוי ובשאר הזמן אפס (נגזרת של קבוע היא אפס)





המוצא תלוי בנגזרת הכניסה (שיפוע) כפול T

$$M1 = T \cdot \frac{E1 - 0}{t1}$$

בקרה D אינה עומדת בפני עצמה ומשלובת יחד עם P – בקר PD או עם PI – בקר PID

#### בקר PD

$$m_{(t)} = K(e_{(t)} + T \cdot \frac{de_{(t)}}{dt})$$

$$M_{(s)} = K(E_{(s)} + T \cdot s \cdot E_{(s)}) = K(1 + T \cdot s)E_{(s)}$$

#### בקר PID

$$m_{(t)} = K(e_{(t)} + R \cdot \int e_{(t)} dt + T \cdot \frac{de_{(t)}}{dt})$$

$$M_{(s)} = K \left( E_{(s)} + R \cdot \frac{E_{(s)}}{s} + T \cdot s \cdot E_{(s)} \right) = K \left( 1 + \frac{R}{s} + T \cdot s \right) E_{(s)}$$

בקר PID משלב את היתרונות של כל הבקרים, חלק ה-P משפר את התגובה הדינמית, חלק ה-I מתקן את השגיאה במצב מתמיד לאפס (תגובה הסטטית) וחלק ה-D מגיב לשינויים מהירים בזמן ונכנס לפעולה בזמן הפרעות מהירות הדורשות תגובה חזקה.