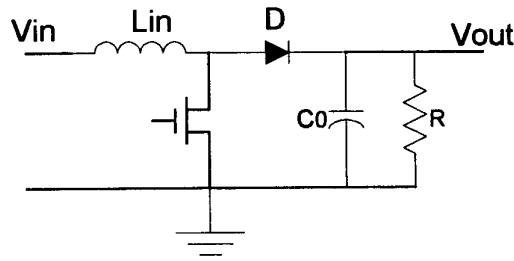
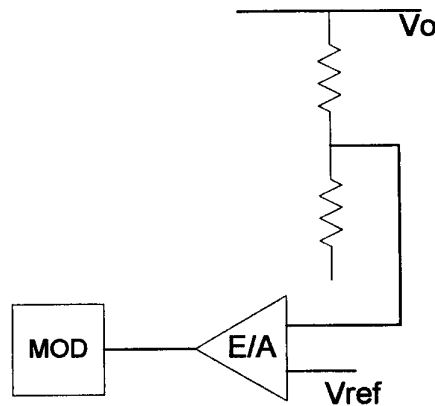


בקרה דינמיקה של ממירים

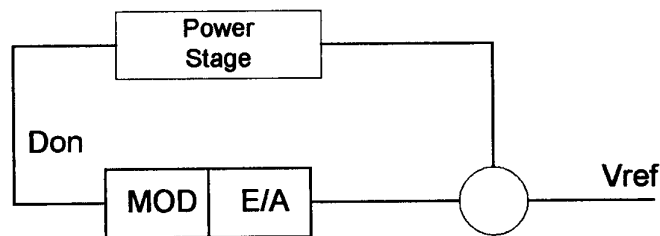
ניקח את מעגל ה Boost



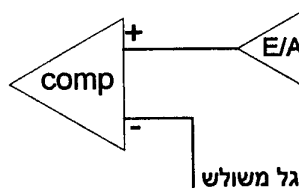
בגלל הדרישה ש I_o יהיה קבוע עלינו לעבוד בחוג סגור ולבקר את המתח ועיי כד לשמור על V_o קבוע.



ה Mod (מודולטור) אמור לשמור על V_o קבוע (כאשר השגיאה גדולה מגדילים את Don וכאשר השגיאה קטנה מקטינים את Don). המערכת היא מהצורה הבאה



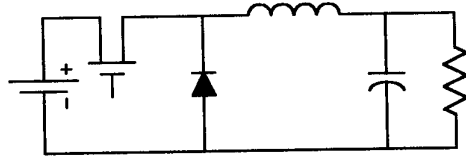
ה Mod ממומש עיי השוואה של גל משולש (שמייצרים עיי אינטגרטור) עם מוצא של מגבר השגיאה



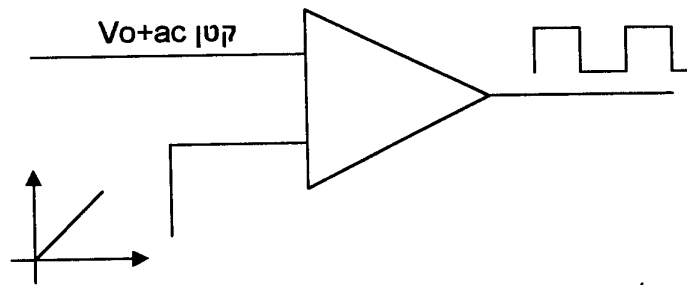
אנו רוצים להבטיח כי כל המערכת תהיה יציבה (כולל המשוב) ולא תתנדנד. ולכן אנו דורשים גם כי רוחב הסרט של המגבר בחוג סגור יהיה גדול. אם המגבר הוא בעל רוחב סרט גדול אזי היציבות טובה יותר.

הפרעות על Don

נתון ממיר Buck :



אנו עובדים בנקי עבודה מסוימת. וב Don מתגלה הפרעה שנסמן ב d כלומר



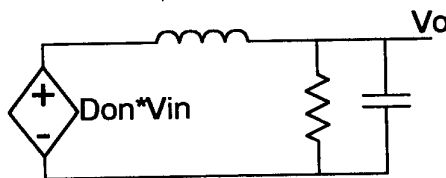
ניתן לומר כי

$$D(t) = Don + d(t)$$

ע"מ למצוא את התמסורת נהפוך את המעגל למודל הממוצע של הממיר. המודל הזה מתבסס על הסליל המתמתג. נסמן ב I_L זרם ממוצע בסליל, הדבר המשפיע על הזרם I_L הוא המתח הממוצע על הסליל ולכן נקבל

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V(t)}{L}$$

במצב היציב $V(t) = 0$ ולכן ניתן לומר שהסליל נמצא בין שני ספקי מתח



בתקופת המעבר יכול להיות שגם V_{in} וגם Don משתנים ולכן

$$Don \cdot Vin = Don(t) \cdot Vin(t)$$

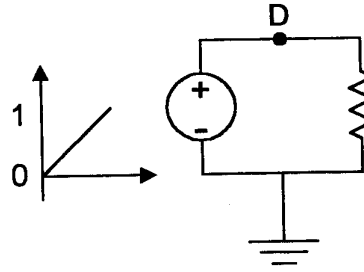
זהו מקור מתח לא ליניארי. אנו רוצים לדעת את התמסורת של d ל V_o . ע"מ לעשות זאת נבצע ליניאריזציה מקומית כלומר

$$Don(t) \cdot Vin(t) = V_{in0} d(t) + D_{on0} Vin(t)$$

ולכן יש לנו סופרפוזיציה של שני מקורות ליניארים. כעת ניתן למצוא את התמסורת של d ל V_o , זוהי בעצם מערכת מסדר שני.

פתרון באמצעות תוכנת Spice

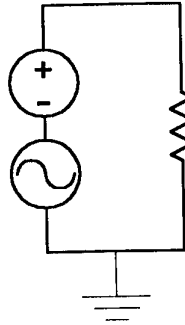
תוכנת ה Spice מכירה רק משתנים שהם מתח או זרם ולכן לא נוכל לבדוק פרמטרים כמו Don, d וכיו' ולכן עיימ להגדיר למשל מקור תלוי $V_{in} \cdot D_{on}$ נקוד את Don במתח כלומר



ונגדיר

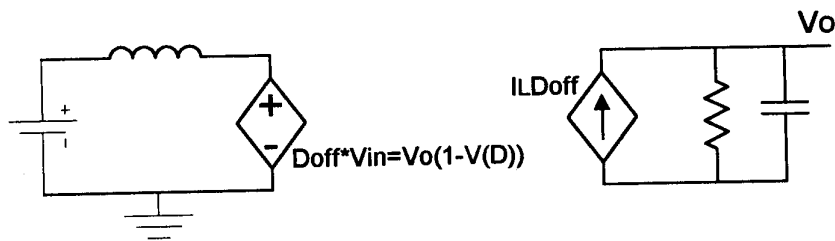
$$V(D) * V_{in}$$

כאשר $V(D)$ ישמש כ Don. אם נריץ אנליזת DC אזי נוכל לשרטט את תגובת המעגל ל-Duty Cycle אם נרצה לבצע אנליזת ac מסביב נקי' עבודה ספציפית אזי נגדיר מקור כזה

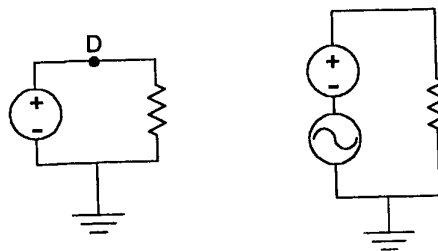


וכעת נריץ אנליזת Ac ונסתכל על התפוקה ב $V_o(t)$ הסימולטור ימצא תחילה את נקי' העבודה DC, יעשה ליניאריזציה סביב נקי' העבודה ואז יחשב את $V_o(t)$. ואנו נוכל לשרטט את V_o/V_{dac} כפונקציה של התדר.

מערכת דומה ניתן לבנות ל Boost



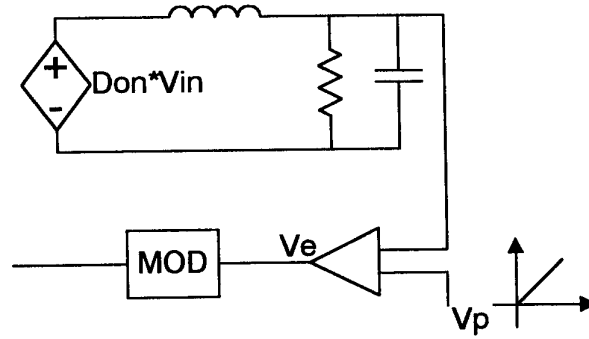
ובונים גם מעגלים



ב Boost התמסורת בין V_o ל d תלויה בנקי עבודה שבה עובד הממיר. אם יודעים לבנות מודל ממוצע התנהגותי, והפיכת סליל מתמתג למעגל שהוא רציף ומראה התנהגות ממוצעת, אזי ניתן להשתמש ב Spice, במקור תלוי שהוא מכפלה של שני משתנים בו מקדדים את Don למתח, וע"י כך ניתן לראות גם אם השינויים במתח בעקבות d (ע"י אנליזת tran כאשר מכניסים ac קטן).

בקרים

נניח כי קיים בקר כמתואר עבור Buck

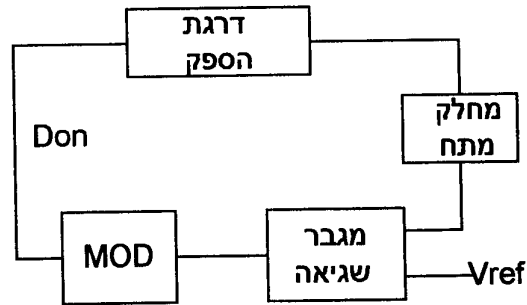


אזי נוכל לומר כי

$$Don = \frac{Ve}{Vp}$$

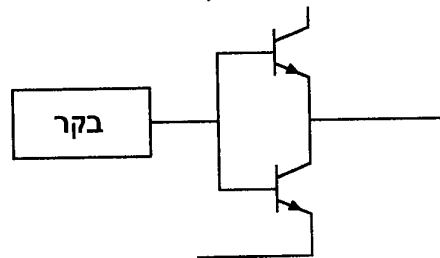
ולכן במקום Don נוכל לשים $\frac{Ve}{Vp}$

כלומר ניתן לתאר את המערכת בצורה הבאה

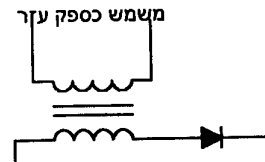


מגבר השגיאה הוא בעצם הבקר אותו עלינו לתכנן (קיזוז פונקצית התמסורת) ע"י חיבור נגדים וקבלים מחוץ לבקר המיוצר.

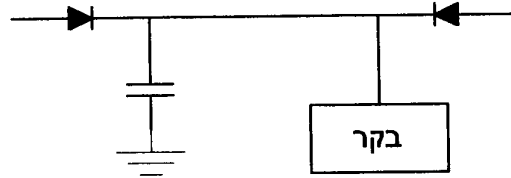
ניתן להוסיף לדרגת הבקר Push Pull ע"מ לדחוף זרם



את המתח של בקר ניתן לקבל ע"י ספק עזר, או ע"י הוספת סליל כמתואר



אבל בצורה זו ישנה בעיית התחלה, משום שאין מתח ראשוני על הסליל ולכן המתג לא יפעל ומכאן שלא יהיה מתח במעגל. עיימ לפתור בעיה זו ניתן לקחת מתח מן הכניסה אבל זה יגרום להפסדים גדולים, דבר שהוא לא רצוי, לכן נבנה מערכת שיכולה להזרים זרם ראשוני לדוגמא המערכת הבאה :

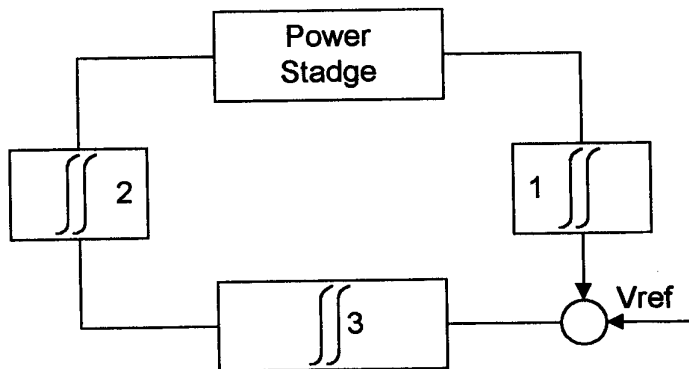


הקבל נטען ולכן הבקר מקבל זרם מסוים, שיכול להפעילו, כאשר דרגת ההספק מגיעה למצב עבודה נורמלי, היא מזרימה זרם והזרם מהמתח הראשון נפסק.

בד"כ עלינו לבדוד בין דרגת הבקרה לבין דרגת ההספק ניתן לשים את הבידוד בשלושה מקומות

1. בידוד לפני הבקר
2. בידוד אחרי הבקר
3. בידוד בתוך הבקר

נדון כעת בשלושת המקרים.

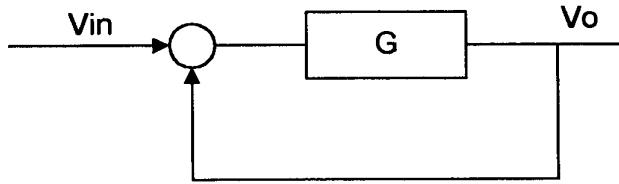


כלומר עלינו לבחון באיזה צורה הכי טוב לחבר את הבידוד. הקריטריון שעל פיו אנו בוחרים הוא, שמתח המוצא יישאר קבוע, ושהבידוד יהיה טוב.

במצב עבודה תקין של המשוב V_e הוא כמעט אפס ולכן אם נשים בידוד במוצא, נצטרך לקבל אחרי מתחים בדיוק מאוד גבוה (רגישות גבוהה של הבקר) ומכיוון שזה לא אפשרי לא נוכל לשים את הבידוד במוצא, כמו כן לא נוכל לשים לאחור הבקר (מסיבה דומה). ולכן עלינו לשים את הבידוד בתוך הבקר.

ניתן לראות את הבחירה הזאת גם בצורה הבאה :

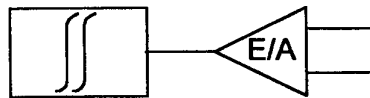
אם נתונה מערכת משוב מהצורה



$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{G}{G+1}$$

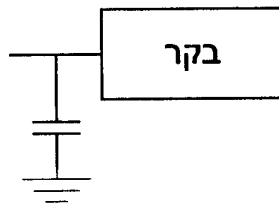
אם נשנה מעט את G התמסורת $\frac{V_o}{V_{in}}$ לא משתנה (במקרה ואנו מדברים על G גדול) ולכן חיבור הבידוד בתוך הבקר לא ישנה את פונקציית התמסורת כלומר אם יהיו תזוזות בדרגת הבידוד המוצא לא יושפע מכך.

לדוגמא



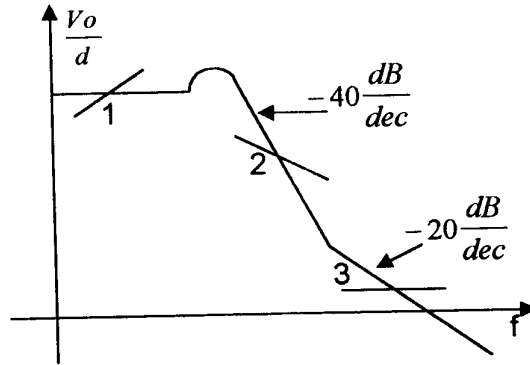
דרגת המוצא תראה $\frac{1}{GAIN}$ של מגבר השגיאה ולכן התזוזות בבידוד לא ישפיעו על המוצא, לעומת זאת בידוד אחרי המוצא של דרגת ההספק ישפיע מאוד משום שתזוזות בבידוד ישפיעו באופן ישיר על המוצא. (ההגבר של E/A יכול להגיע ל 10^5 ולכן ההשפעה במוצא מאוד קטנה).

בעיה נוספת בבקרים היא של Soft Start, כלומר בעיית התחלה. השגיאה בתחילת העבודה של הממיר גדולה מאוד ולכן Don יגיע לערך גדול, Don גדול יגרום למתחים מאוד גדולים על הסליל והוא עלול להשרף. ע"מ להימנע מתופעה זו מוסיפים קבל בבקר ואז בהפעלה של המעגל, הודות לקבל, Don לא יעלה



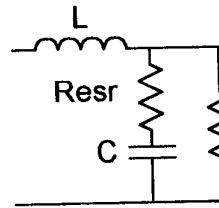
קיצוץ קטבים ע"י משוב

נניח ונתונה פונקציית התמסורת הבאה



f - תדר ההפרעות של המודולציה.

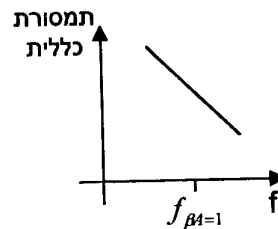
• מכיוון שלקבל ישנה התנגדות R_{esr} אזי ב Buck הרשת מתנהגת כמו רשת R-L



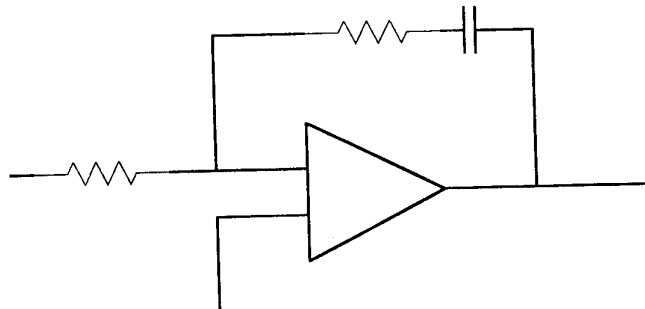
משום שאם ההפרעה בתדר מאוד גבוהה הקבל הוא קצר.

הבעיה המרכזית היא כיצד לסגור את חוג המשוב. נוכל לבצע זאת ע"י אחד משלושת האפשרויות המצוינות במספרים על פונקציית התמסורת לעיל.

נניח וברצוננו לבצע קיצוץ ע"י פונקציית מס' 1 כלומר התמסורת הכללית תהיה

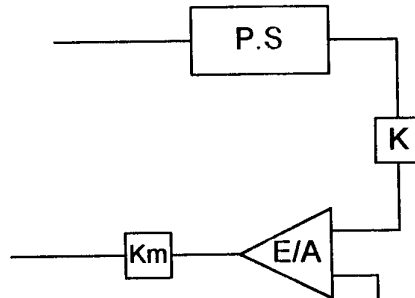


לאחר מציאת התדר $f_{\beta A=1}$ ניתן לממש את הבקר כך



השלבים אם כן למימוש בקר הם :

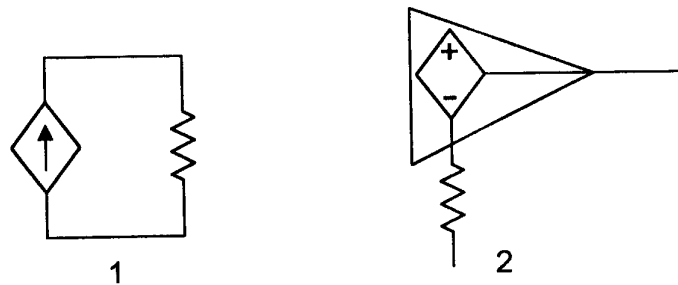
1. מציאת פונקציית התמסורת של דרגת ההספק עבור הפרעות ב Don.
2. תכנון דרגת המשוב
3. סינטיזה של המעגל מתוך ידיעת התמסורת של דרגת המשוב.



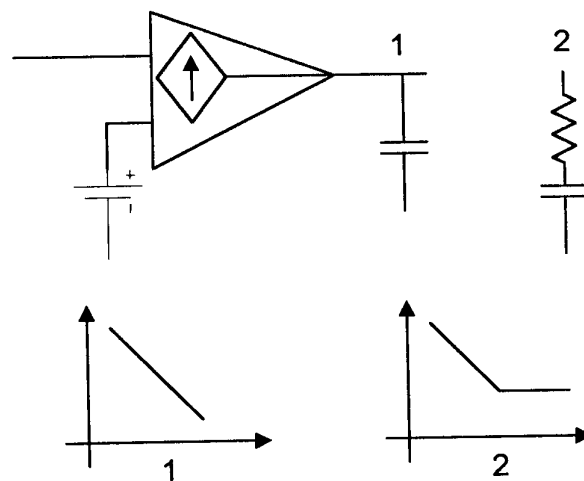
עלינו לקחת בחשבון את פונקציית התמסורת K_m ולקזז אותה מה β הרצוי עפ"י החישוב.

דרישה נוספת עבור β היא שעבור תדרים נמוכים תהיה עקיבה טובה. ע"מ לממש זאת עלינו לבדוק כיצד בנויים מגברי השגיאה

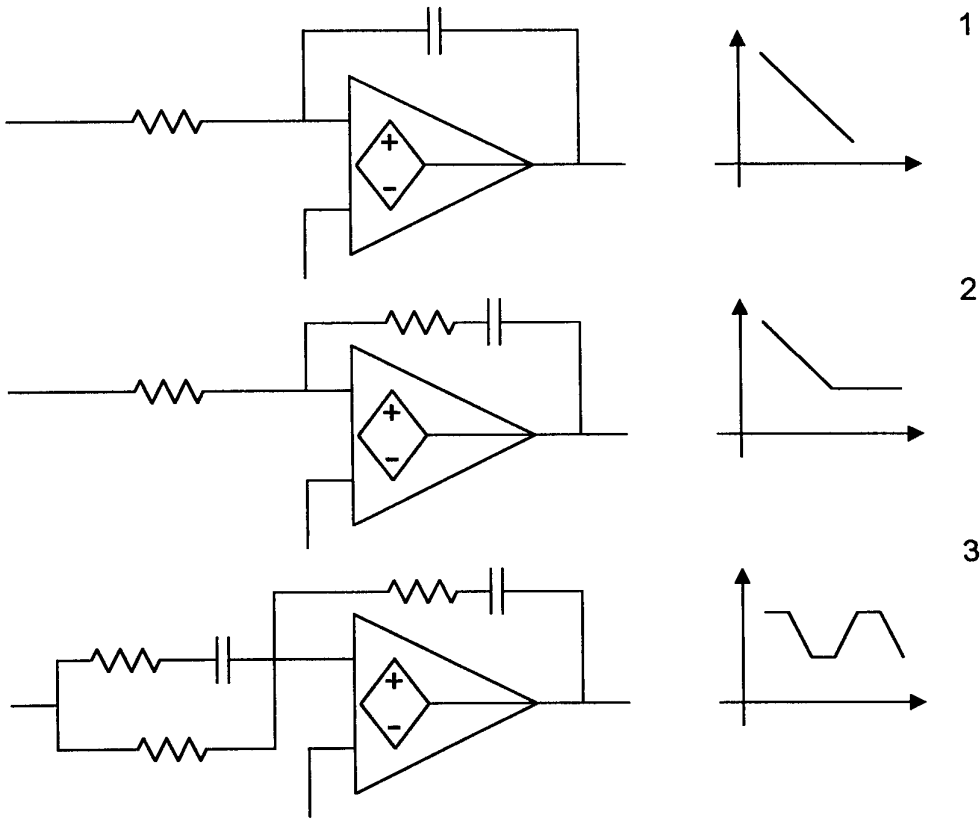
ישנם 2 סוגים של מגברי שגיאה



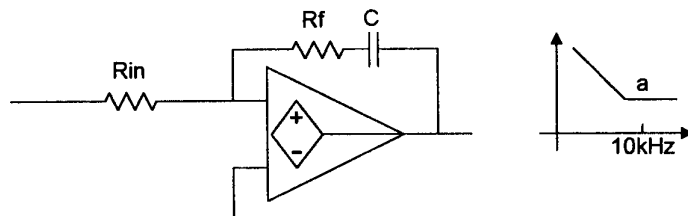
עבור מגבר ראשון ניתן לחבר



עבור מגבר שני ניתן לחבר



ניקח את המקרה השני



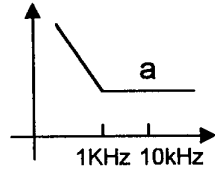
$\beta A_{ol} = 1$ (a) כלומר שבנקי
 $A_a = 0.1$ ידוע כי
 ולכן $\frac{1}{\beta} = 0.1$ ומכאן $\beta = 10$ ש
 ומכיוון ש

$$\beta = K_m \cdot K \cdot (E / A)$$

k - מחלק מתח
 $K_m = 0.2$ ו $K = 1$ נניח
 ולכן מקבלים

$$E / A = \frac{R_f}{R_{in}} = 50$$

נניח ש $R_{in}=1K\Omega$ ו $R_f=50K\Omega$ ולכן

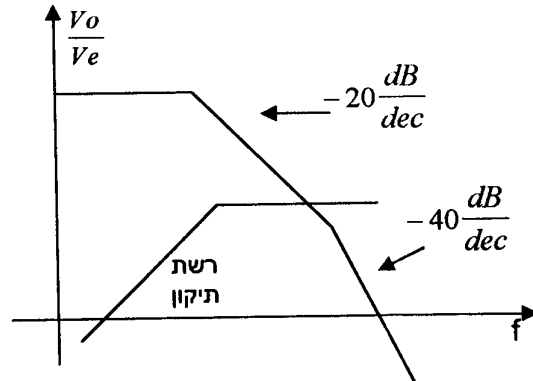


$$f = \frac{1}{2\pi R_f C}$$

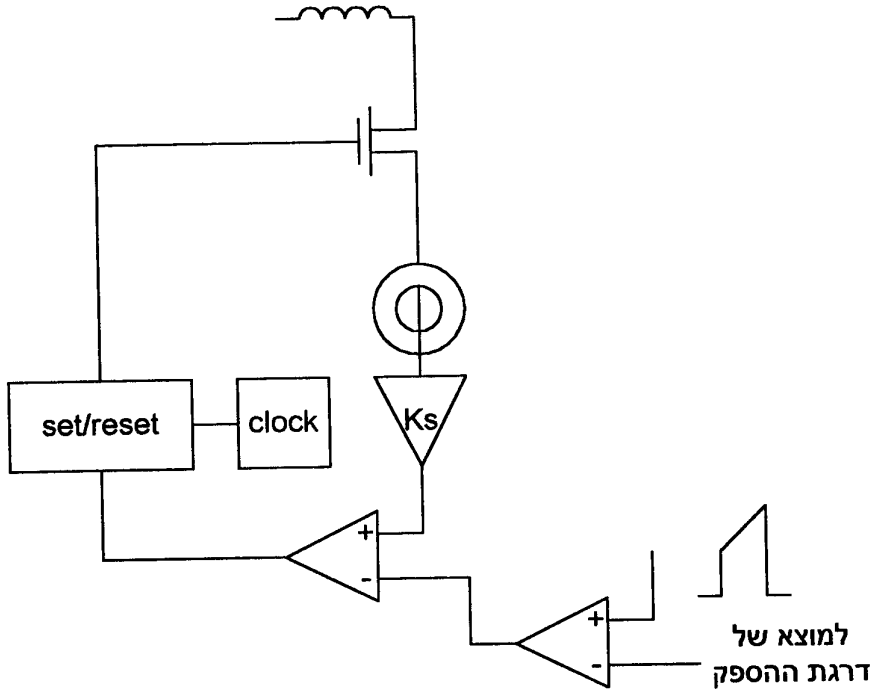
ומכאן ניתן לחשב את C

Current Mode

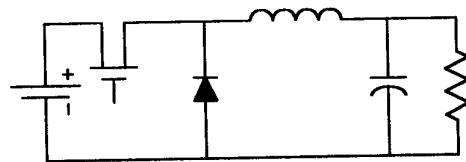
הבקר מייצר פונקציות תמסורת



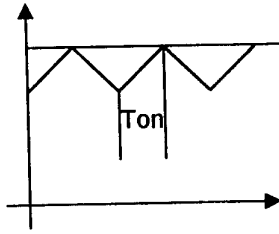
ל C.M ישנו מודולטור, ולכן צורת העבודה בבקר תלויה בזרם



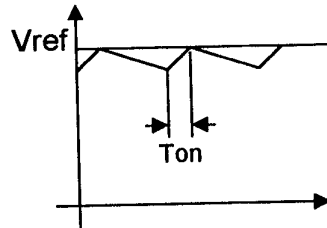
כלומר קיבלנו מקור זרם, עבור מתח שמגיע ל V_{ref} , בנקודה a המתג מפסיק להוליך נתון ממיר Buck :



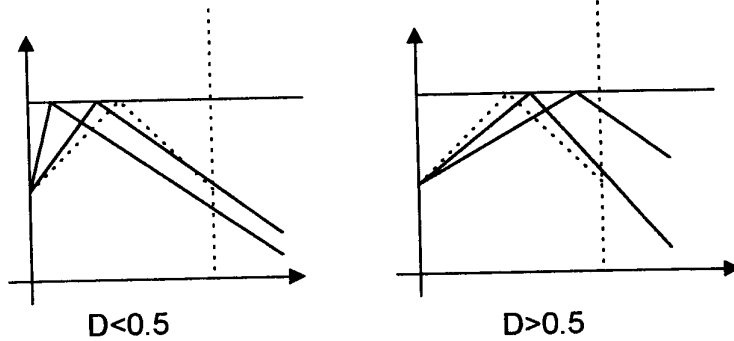
אם נגד R גדול מאוד אזי נקבל כך



אם הנגד קטן נקבל

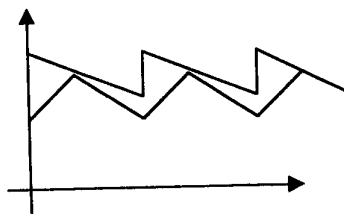


קיבלנו במקום מקור מתח מקור זרם, בבקר עצמו ישנו חוג פנימי. ישנה בעיה בממיר זה משום שאם מתכננים את הממיר ל $D=0.5$ אזי אם נעבוד ב $D=0.7$ או לחילופין ה D יגיע לערך שגדול מ 0.5 (בהדלקה ה D יהיה שווה ל D' שגדול מ 0.5) אזי בקר C.M מתחיל להתנדנד (אי יציבות) לתנודות אלה קוראים Sub harmonic Oscillation(תדר הרזוננס הוא חצי מתדר המיתוג).



אז אם ישנה הפרעה בכניסה מסיבה כלשהי ההפרעה במוצא תהיה יותר גדולה אם $Don > 0.5$ ויותר קטנה אם $Don < 0.5$.

הפתרון הוא הבא נתבר רגל של ה Comp לשן מסור

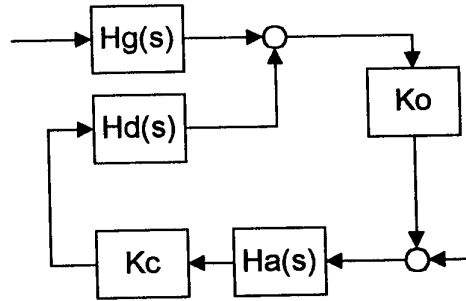


מודל ממוצע

ע"מ לבקר ממירים (כדי לשמור על V_{out} קבוע) עלינו לחבר אותם למשוב שלילי. ניקח לדוגמה את ממיר ה Buck ונחבר מחלק מתח במוצאו, את מחלק המתח נחבר למגבר עם V_{ref} , וזאת ע"מ למנוע שינויים ב V_o . נניח כי V_o גדל אזי ישנה שגיאה קטנה בממיר ולכן אם

$$\frac{V_o}{V_{in}} = D$$

עלינו להקטין את D ע"מ להחזיר את V_o לקדמותו אם נסתכל במעגל הבא :



אזי

$$LP(S) = KoHa(S)KcKd(s)$$

תנאי ליציבות הוא

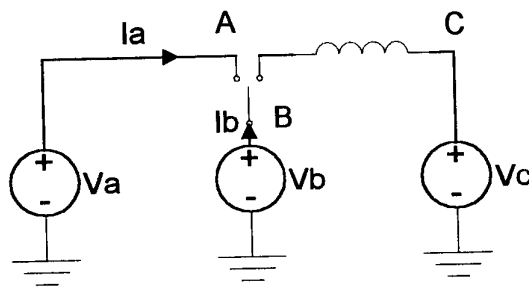
$$|LP(S)| = 1$$

$$\varphi(LP(S)) = -180$$

מהו השינוי במתח המוצא כאשר יש שינוי קטן ב D .

$$Hd(S) = \frac{V_o}{d}(S)$$

כל הטופולוגיות הבסיסיות BUCK-BOOST, BOOST, BUCK ניתנים לתיאור ע"י המעגל הבא:



בזמן ש S מחובר ל a אז זה Don .
בזמן ש S מחובר ל b אז $1-Don$ כלומר $Doff$.

$$I_a = DonI_L$$

$$I_b = DoffI_L$$

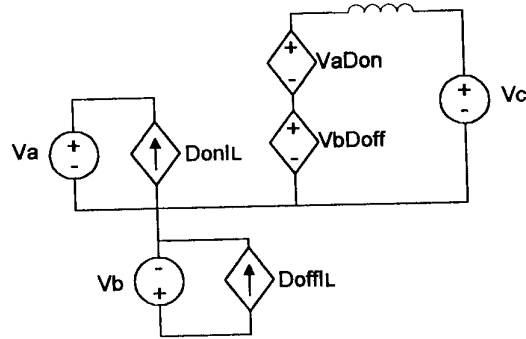
אם נניח כי אין מיתוג וכל הזרמים הם DC
כמובן ש

$$I_L = DonI_L + DoffI_L$$

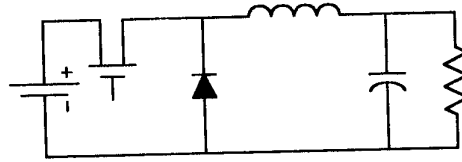
ניתן לכתוב גם

$$V_f = V_A Don + V_B Doff$$

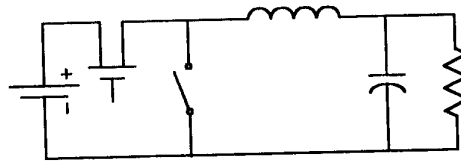
ונוכל לצייר את המעגל בצורה הבאה :



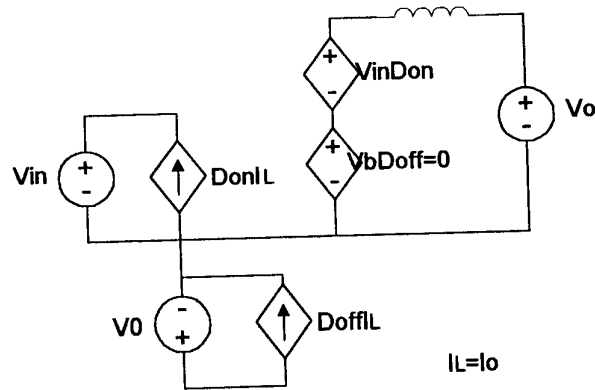
ניקח עכשיו את ה Buck



דיוודה היא כעין מתג, ולכן ניתן להחליף את הדיוודה במתג בצורה הבאה



נצייר מודל ממוצע



חישוב פונקציית התמסורת

בזמן מחזור 1 מפל המתח על הסליל הוא אפס ולכן

$$V_L = 0 = V_o - V_{in}Don$$

ומכאן ש

$$\frac{V_o}{V_{in}} = Don$$

נחשב את $\frac{I_o}{I_{in}}$ מקור זרם בכניסה הוא

$$I_{in} = I_L Don$$

ומכיוון ש

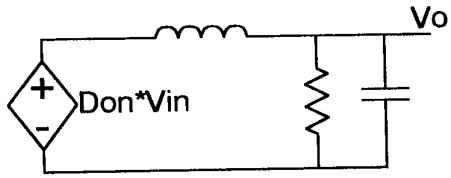
$$I_L = I_o$$

אזי

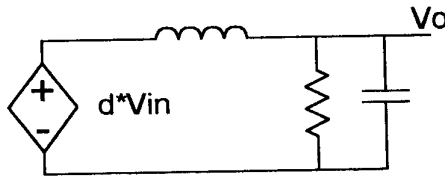
$$\frac{I_o}{I_{in}} = \frac{1}{Don}$$

חישוב תגובה לאות קטן

ישנו המעגל הבא



אם נגזור מעגל זה לפי d נקבל



$$\frac{V_o}{d}(S) = Vin \frac{\frac{1}{SC} \parallel R}{\frac{1}{SC} \parallel R + SL}$$

לכן פונקציית התמסורת לאות קטן היא

$$\frac{V_o}{d}(S) = \frac{Vin}{1 + j2\xi \frac{w}{w_0} - \left(\frac{w}{w_0}\right)^2}$$

סוף

למחית בשמיים