第 3 回の内容

- パルス整形回路
- パルス整形線路
- 微分方程式の数値解法補足（時間があったら）

キーワード

容量移行型回路，マルクス回路，ラダー回路，
ケーブル放電回路，ブルームライン回路，
（ルンゲクッタ法）

2.5 容量移行型回路：CLC 回路

$$i(t) = \frac{\omega_0 V_0}{\dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}} \sin \omega_0 t$$

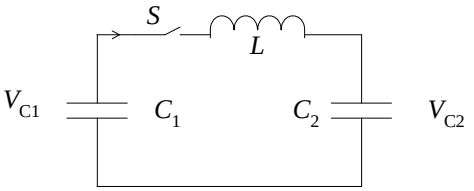
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}$$

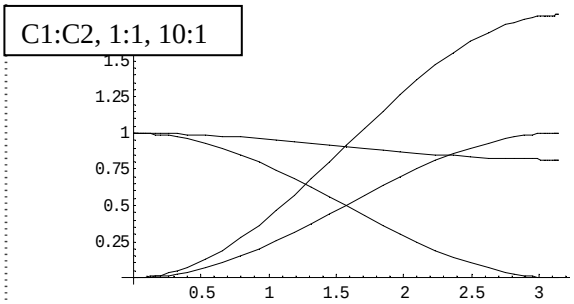
$$v_{C_1}(t) = V_0 \left[1 - \frac{C_2}{C_1 + C_2}(1 - \cos \omega_0 t)\right]$$

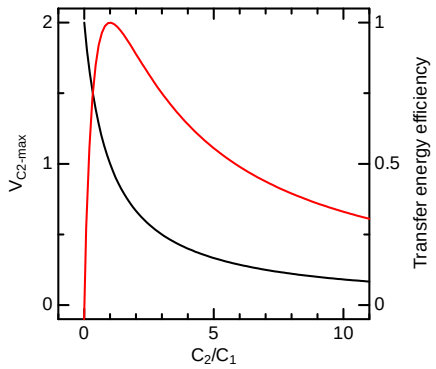
$$v_{C_2}(t) = V_0 \left[\frac{C_1}{C_1 + C_2}(1 - \cos \omega_0 t)\right]$$

$$v_{C_2 \max} = \frac{2V_0}{1 + \dfrac{C_2}{C_1}}$$ （導出は演習課題）

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} C_2 v_{C_2 \max}^2}{\frac{1}{2} C_1 V_0^2} = 4 \frac{C_2/C_1}{\left(1 + C_2/C_1\right)^2}$$







2.6 PFN 回路（LC ラダー回路）

L, C ：一段あたりのインダクタンスとキャパシタンス

n ：段数

パルス幅： $\tau_p \approx 2n\sqrt{LC} = 2nC\sqrt{\dfrac{L}{C}} = 2nCZ$

PFN の特性インピーダンス： $Z = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$

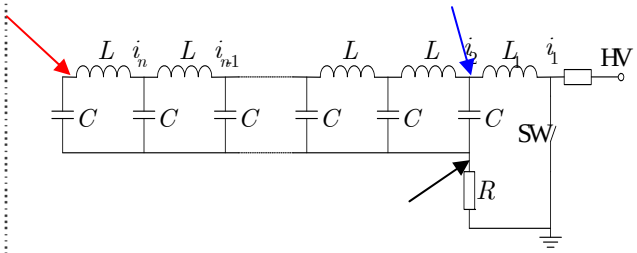
出力電圧： $V_{\text{out}} = \dfrac{R}{Z + R} V_0$

整合負荷では， $V_{\text{out}} = \dfrac{1}{2} V_0$

出力電流： $I_{\text{out}} = \dfrac{V_0}{Z + R}$

Z と τ_p が与えられると，

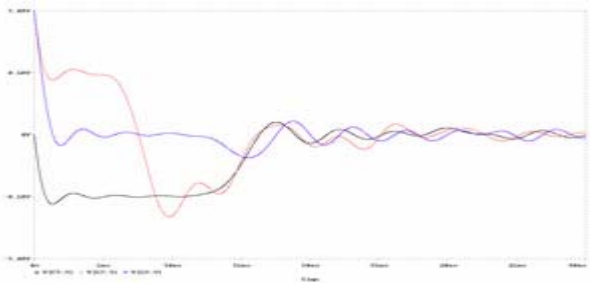
$C = \dfrac{\tau_p}{2nZ}$， $L = \dfrac{\tau_p Z}{2n}$ となる。



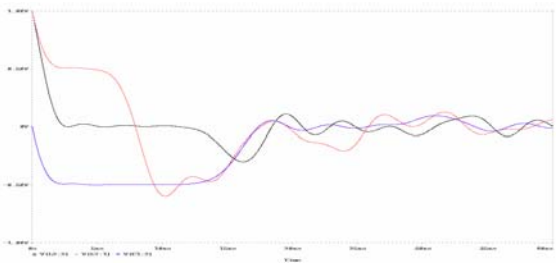
パルス立ち上がり時間： $\tau_r \approx \dfrac{\pi}{2\sqrt{\dfrac{1}{L_1 C} - \dfrac{R^2}{4L_1^2}}}$

出力波形が平坦になる目安：$n = \dfrac{\tau_p}{\tau_r}$

7 段の計算例（1 μF, 1 μH, 1 Ω）



7 段の計算例（1 μF, 1 μH, 1 Ω, /L1:1.9μH）



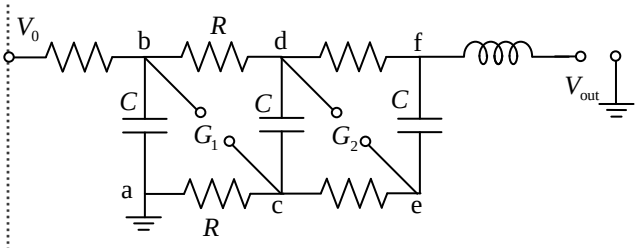
2.7 マルクス回路 [1)]

基本原理：並列充電→直列放電

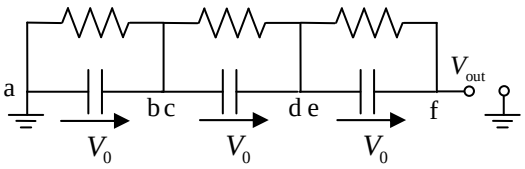
特徴：パルス高電圧出力，出力抵抗大

各キャパシタは同じ値，抵抗は充電抵抗としても働く

1) 1923 年 Erwin Marx による発明



マルクス回路：充電時



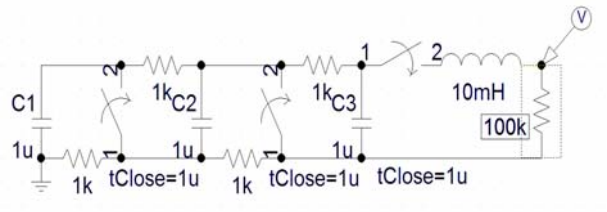
ギャップ導通時

(a) ギャップ機械駆動方式

G_1 ～ G_3 のギャップスイッチ（3 章）のギャップ長を（電動で）機械的に短くしてギャップを短絡する。各コンデンサ C は充電抵抗を介して V_0 に充電されている。スイッチ G_1 が閉じると c の電位はその瞬間 V_0 になる。d の電位は $2V_0$。同様に e の電位も d に対して V_0 上がる。結局出力電圧は $3V_0$ になる。なお波形調整用に L を入れる場合もある。

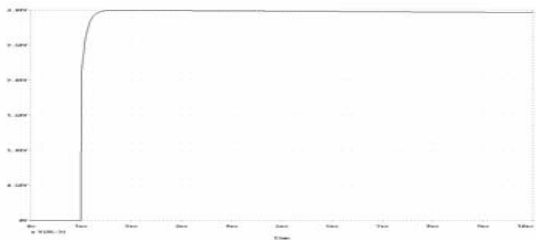
(b) トリガトロン方式

G_1 のみ電気パルスにより閉じるギャップスイッチで，他は過電圧で導通する自爆型ギャップスイッチの場合。ギャップ間隔は充電電圧では導通しない長さにし，G_1 が導通すると c はその瞬間 V_0 上がる。すると d は $2V_0$ になるが，e は対地浮遊容量や充電抵抗の影響で接地電位に近い状態になる。このため G_2 が導通して f は $3V_0$ になる。



数値計算（PSpice）回路例

*上記は(a)で示した時間制御の on スイッチ例。ギャップスイッチの動作模擬とはなっていない。



2.8 パルスフォーミングライン：PFL

2.8.1 線路終端での進行波

$e_1 + e_1' = e_2 = Ri_1$

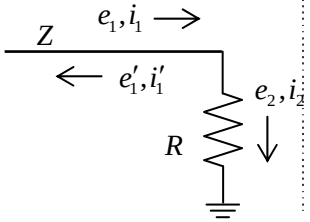
$i_1 - i_1' = i_2$

$i_1 = \dfrac{e_1}{Z},\ i_1' = \dfrac{e_1'}{Z}$

反射波：$e_1' = \dfrac{R-Z}{R+Z} e_1$

透過波：$e_2 = \dfrac{2R}{R+Z} e_1$

透過電流：$i_2 = \dfrac{e_2}{R} = \dfrac{2e_1}{R+Z}$



(1) $R = \infty$ の場合：終端開放

$e_1' = e_1,\ e_2 = 2e_1$

$i_1' = i_1,\ i_2 = 0$

(2) $R = 0$ の場合：終端短絡

$e_1' = -e_1,\ e_2 = 0$

$i_1' = -i_1,\ i_2 = 2i_1$

(3) $R = Z$ の場合：整合

$e_1' = i_1' = 0$

$e_2 = \dfrac{2Z}{2Z} e_1 = e_1$

2.8.2 ケーブル放電回路

ケーブルの長さ：ℓ

進行波（電圧，電流）の伝搬速度：v

パルス幅：　$\tau_p = \dfrac{2\ell}{v} = 2\ell\sqrt{LC}$

出力電圧：　$V_{\text{out}} = -\dfrac{R}{Z+R} V_0$

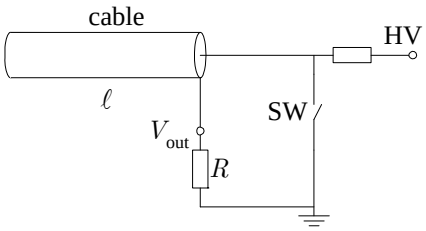
整合負荷では，$V_{\text{out}} = -\dfrac{1}{2} V_0$

出力電流：$I_{\text{out}} = -\dfrac{V_0}{Z+R}$

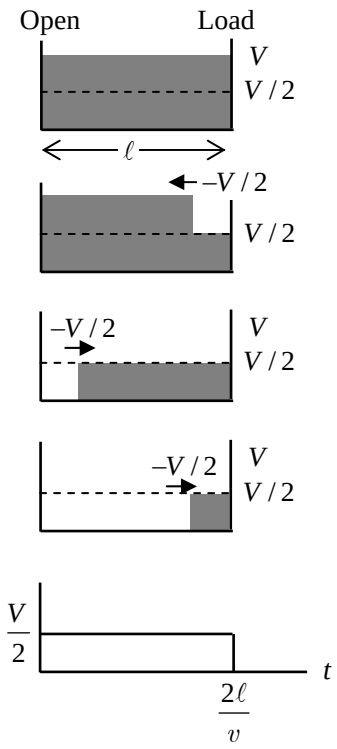
立ち上がり時間：

負荷が LR 直列：$\tau_r = \dfrac{V_0 R}{Z+R}\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{Z+R}{L}t}\right)$

負荷が CR 並列：$\tau_r = \dfrac{V_0 R}{Z+R}\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{Z+R}{ZCR}t}\right)$



ケーブル上の電圧分布



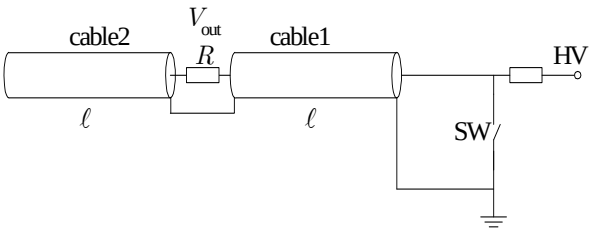
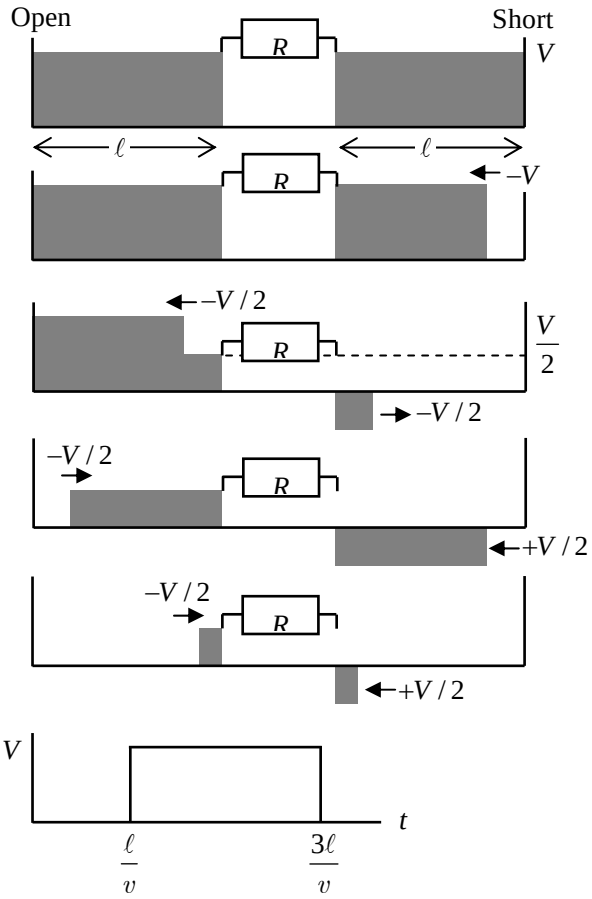
2.8.3 ブルームライン回路

ケーブルの長さ: $\ell \times 2$

進行波（電圧，電流）の伝搬速度: v

パルス幅: $\tau_p = \dfrac{2\ell}{v} = 2\ell\sqrt{LC}$

出力電圧: $V_{\mathrm{out}} = -\dfrac{2R}{R+2Z}V_0$

整合負荷 $R = 2Z$ では，$V_{\mathrm{out}} = -V_0$

出力電流: $I_{\mathrm{out}} = -\dfrac{1}{R+2Z}V_0$