

「双対回路と電力変換回路」

近藤 正示

1 双対な回路

二つの電気回路があり、一方の回路の回路方程式で電圧と電流を入れ替えると、他方の回路の回路方程式になるとき、互いに双対な回路という。双対な回路同士では、表 1 において左右が対応する。

双対回路という考え方を利用すると、元回路から新回路をシステムティックに導出することができる。(覚えることを少なくできる！)

表 1 双対回路における関係

元回路	新回路
電圧	電流
並列	直列
R	$1/R$
L	C
スイッチ on	スイッチ off

2 双対回路を導出する手順

平面上で線が交わらないように描ける回路の双対回路を描くことが出来る*1。以下の手順は、筆者が電力変換回路用に整理したものである。

*1 平面グラフ, K. Kuratowski の定理, cf. 篠田庄司:「回路論入門(1)」, p.238, コロナ社 (1996)

- Step1: 元回路の外側を囲むように P_0 線を描く。
- Step2: 新回路を描く場所の下のほうに線分を描き, それを P'_0 線とする。
- Step3: 元回路で全ループの中に一つずつ点 P_1, P_2, \dots, P_n を記入する。
- Step4: 新回路の P'_0 線の上方に同数の点 P'_1, P'_2, \dots, P'_n を記入する。
- Step5: 元回路の全ての回路要素について, 元回路で $P_i \rightarrow P_j$ を結んだ線上にある回路要素を表 1 と下の注意により変換して, 新回路の $P'_i \rightarrow P'_j$ の間に挿入する。(ただし, 元回路の始点 P_i には, P_0 を選ばないこと。下の注意で「 P_0 を囲んで・・・」が出来ないからである。)

注意: 電源, ダイオード, スイッチなどの向きの変換は以下の通り*2。

1. 元の電圧源 = > 新しい電流源
 - (a) 元回路で始点 P_i を囲んで時計回りに電圧が降下する電圧源なら, 新回路では $P'_i \rightarrow P'_j$ の向きに電流を流す電流源になる。
 - (b) 元回路で電圧上昇なら, 新回路では逆向き (終点 $j \rightarrow$ 始点 i) の電流源になる。
2. 元の電流源 = > 新しい電圧源
 - (a) 元回路で始点 P_i を囲んで時計回りに電流を流す電流源なら, 新回路では $P'_i \rightarrow P'_j$ の向きに電圧が降下する電圧源になる。
 - (b) 元回路で反時計回りの電流源なら, 新回路では $P'_i \rightarrow P'_j$ の向きに電圧が上昇する電圧源になる。
3. ダイオード
元回路で始点 P_i を囲んで時計周りに見たとき on するダイオードなら, 新回路では $P'_i \rightarrow P'_j$ の向きに off する (つまり, 逆向きに終点 $P'_j \rightarrow$ 始点 P'_i 向きに on する) ダイオードになる。
4. スイッチ
元回路で始点 P_i を囲んで時計周りに見たときに電流が流れる向きな

*2 面倒だが間違えにくい方法。

ら，新回路では $P'_i \rightarrow P'_j$ の向きに電流が流れる向きとなる*3。

3 双対回路を描く例

元回路 (図 1) の双対回路を第 2 節に述べた手順で描くと，新回路 (図 2) になる。ただし，新回路 (図 2) では，記号 V, I, L, C の使い方が通常と反対になっているから注意すること (単位記号を見よ)。

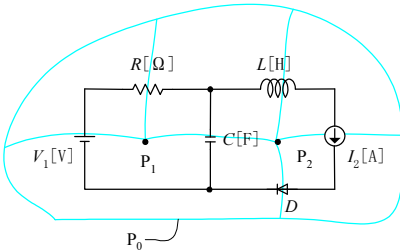


図 1 双対回路の例 (元回路)

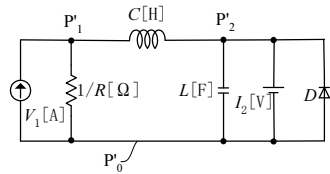


図 2 双対回路の例 (新回路)

4 電力変換回路の双対性

直流チョップパとして知られている回路は 6 種類ある*4。図 3 は最も基本的な降圧 (buck) チョップパであり，図 4 は昇圧 (boost) チョップパである。降圧と昇圧の両機能を有する昇降圧 (buck/boost) チョップパは図 5 であり，負荷電圧の極性が反転する。以上の図 3 から図 5 の回路では，主なエネルギー蓄積素子はリアクトル L である。

これに対して，以下に示す 3 種類の回路では，コンデンサ C_1 がエネル

*3 高原氏のご指摘により訂正。なお，ver.1.00 の「極性はダイオードと同じ。」はウソ。

*4 原田耕介ほか：「スイッチングコンバータの基礎」，pp.27-31，コロナ社 (1992)

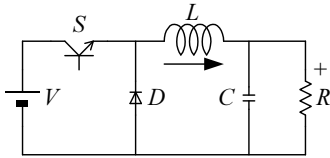


図3 降圧 (buck) チョップ

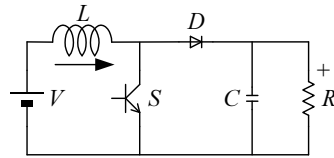


図4 昇圧 (boost) チョップ

ギ一蓄積素子となり，昇降圧が可能である。図6はチュック (Cuk) 回路と呼ばれ，負荷電圧の極性が反転する。図7はゼータ (Zeta) 回路であり，図8をセピック (Sepic) 回路という。この二つの回路の負荷電圧は反転しない。

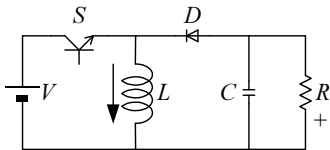


図5 昇降圧チョップ

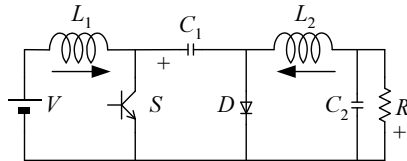


図6 Cuk 回路

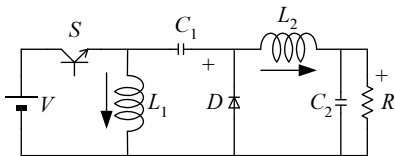


図7 Zeta 回路

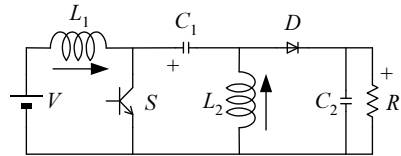


図8 Sepic 回路

演習 図3から図8の各回路において，それぞれ，どの回路同士が双対な関係になっているかを調べよ。(ヒント：第2節に示した手順だけでは足りない。直流電流源は直流電圧源とリアクトルで代用するなど，直感を働かせよ。)