

フリーシミュレータで実践する回路設計講座

第1回 双対回路

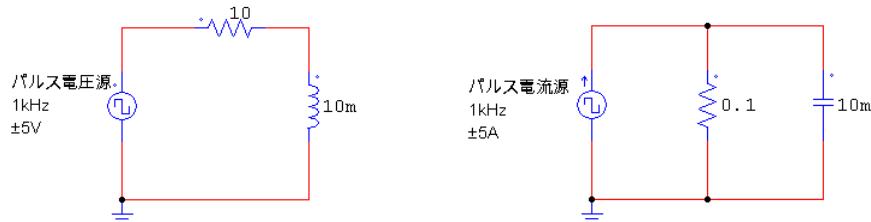
解答と解説

○ 双対回路について

インダクタンス L の電流 i_L と電圧 v_L の関係は $L \frac{di_L}{dt} = v_L$ で表されます。コンデンサ C の電圧 v_C と電流 i_C の関係は $C \frac{dv_C}{dt} = i_C$ で表されます。

両式を比較すると、 L と C 、 i_L と v_C 、 v_L と i_C を置き換えると完全に同じ数式になることがわかります。このような関係は「双対性」と呼ばれます。

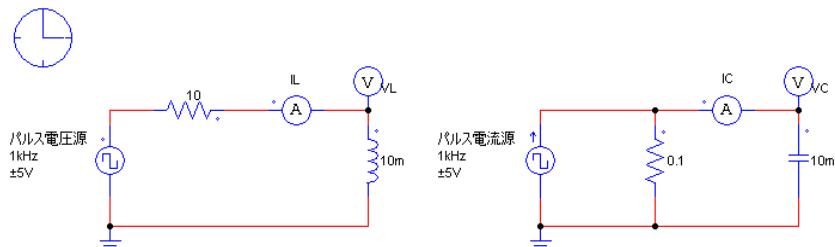
○ 問題 1



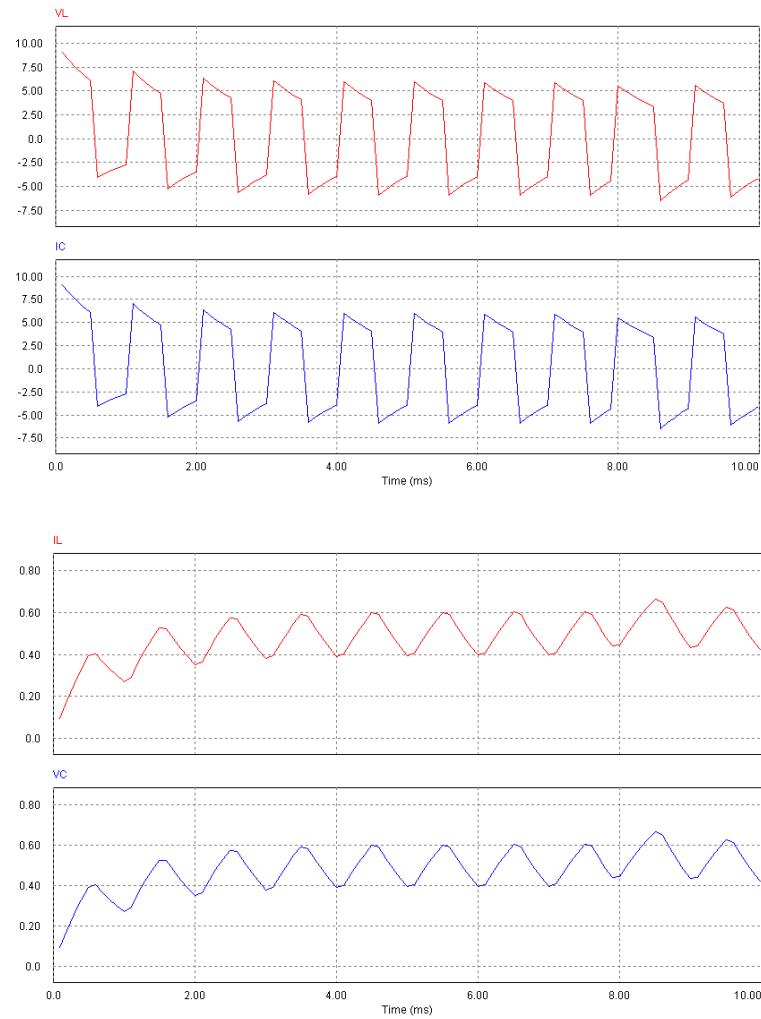
上記の両回路を PSIM でシミュレーションし、各部の波形を観察して双対性があることを確認してください。

○ 解答例 1

下図のように、電圧及び電流プローブをそれぞれの位置に取り付けてシミュレーションを行ってください。(ファイル「Q1.sch」参照)

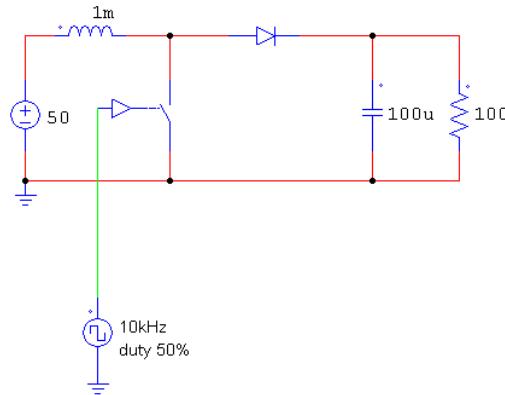


シミュレーション結果は下図のようになります。 $v_L = i_C$ 、 $i_L = v_C$ となっていることが確認できます。



○ 問題 2

以下の回路の双対回路を作成し、元回路と双対回路をシミュレーションして各部の波形を確認してください。



○ 解答例 2

一般に、電気回路 A と電気回路 B が双対回路の場合、両回路には以下のような関係があります。

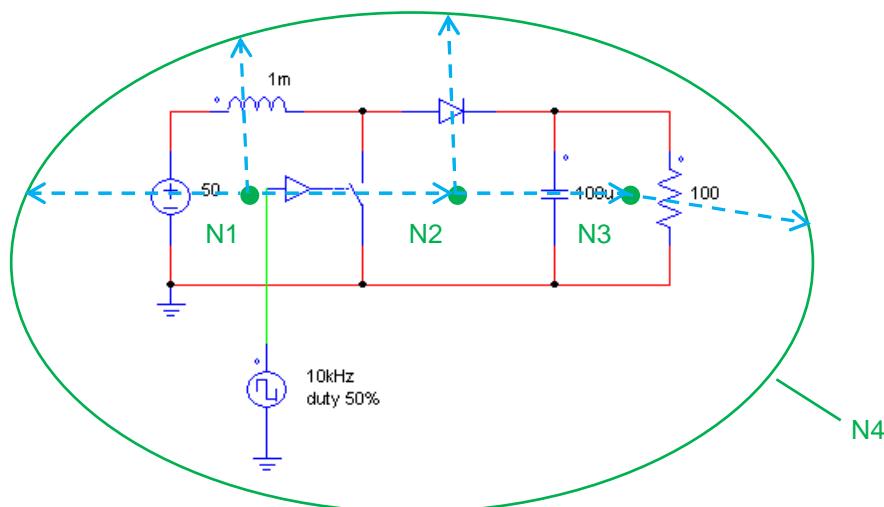
回路 A	回路 B
電圧	電流
電流	電圧
抵抗 R	抵抗 $1/R$
インダクタンス L	コンデンサ C
コンデンサ C	インダクタンス L
並列回路	直列回路
直列回路	並列回路
スイッチ on	スイッチ off
スイッチ off	スイッチ on

これに従って変換すると、双対な回路が求められます。しかし、この問題のような回路の双対回路は、直感的な素子の置き換えだけで求めることは困難です。

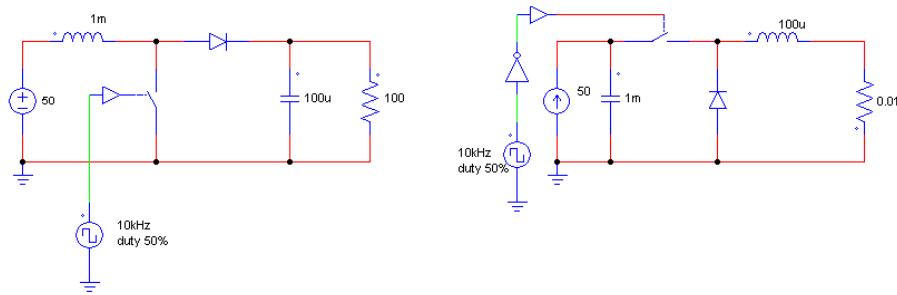
そこで、ここではまず双対回路を機械的に描く手順の一例を紹介します。

1. 元回路の周りを線で囲みます。(この線を N4 と呼ぶことにします。)
2. 元回路内にある閉ループの中心に点を置きます。今回の例では閉ループは三つあります。まずは直流電源、L、スイッチからなる閉路です。この閉路の中心に N1 という点を置きます。次はダイオード、C、スイッチからなる閉路です。この閉路の中心に N2 という点を置きます。最後は C、R からなる閉路です。この閉路の中心に N3 という点を置きます。

3. 以下の法則に従って、隣り合う各 N 同士を線で結びます。
 - ・ 番号の小さい閉路から大きい閉路に向かって線を引きます。
 - ・ このとき必ず間にある回路素子の上を通るように線を引きます。（下図の青点線参照）
4. N4 をグランド電位と見て、引いた線に従って回路図を作ります。直列と並列の関係が反転していることが分かると思います。
5. 4. で回路を描く際に素子の変換を行います。素子の変換の法則は以下の通りになります。
 - ・ 「電圧源」：電流源に変換します。このとき、電圧源上に引いた線がありますが、この始点を中心とする閉路に対して、時計周りに電圧降下を起こす方向であるならば、引いた線と同方向の向きを持つ電流源に置き換えます。今回は直流電圧源を N1 から N4 に電流を流す直流電流源に変換します。
 - ・ 「RLC」: R は $1/R$ の抵抗値を持つ抵抗に変換します。L はそのインダクタンスと同じ値のキャパシタンスを持つ C へ変換します。C はそのキャパシタンスと同じ値のインダクタンスを持つ L へ変換します。
 - ・ 「ダイオード」：ダイオード上に引いた線がありますが、この始点を中心とする閉路に対して、時計周りにオンするものであるならば、引いた線の方向でオフするダイオードに置き換えます。
 - ・ 「スイッチ」：スイッチ上に引いた線がありますが、この始点を中心とする閉路に対して、時計周りに電流を流すものであるならば、引いた線の方向に電流を流すスイッチに置き換えます。また、スイッチの on/off の状態が逆になるように、スイッチ制御信号を反転します。



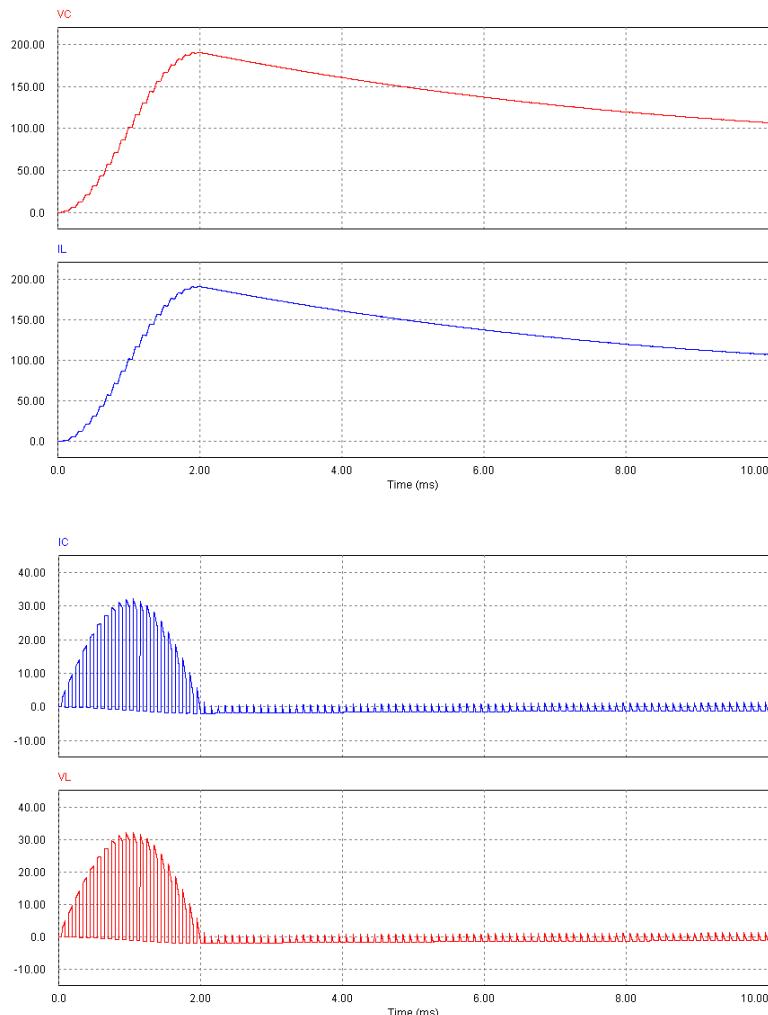
以上の手順で、下図右側の通り双対回路が作成できました。(ファイル「Q2.sch」参照)



さて、次はPSIMシミュレーションにより、本当に上図の回路が双対回路になっているのか確認を行います。

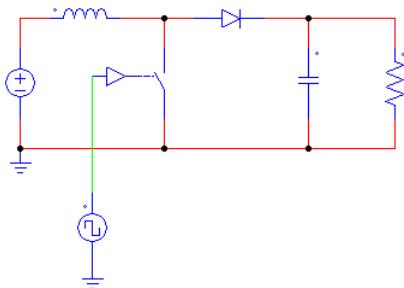
以下にPSIMシミュレーション結果を示します。元回路C(双対回路のL)の比較だけを載せています。 $v_L = i_C$ 、 $i_L = v_C$ になっており、双対関係の確認ができました。

他の箇所の双対性についても、実際にシミュレーションを行って確認してみてください。

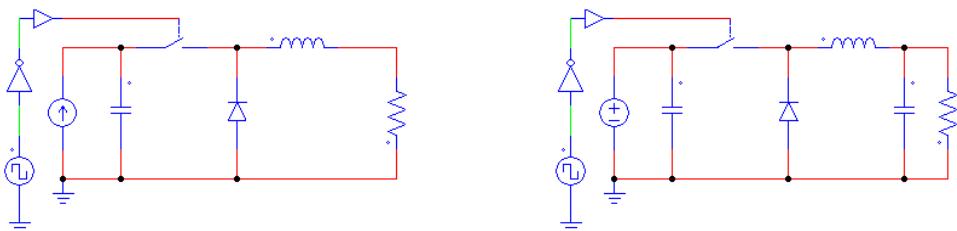


○ 降圧チョッパ回路と昇圧チョッパの双対性について

今回の問題2の出題回路は、一般的な昇圧チョッパ回路です。（下図）



これに対し、完成した双対回路（下図左側）の電流源を電圧源に変換し、出力の抵抗と並列に平滑コンデンサを追加すると、下図右側のように一般的な降圧チョッパ回路となります。



すなわち、昇圧チョッパ回路と降圧チョッパ回路は双対回路であるということができます。このように、パワーエレクトロニクスで用いられる回路の多くには双対性があり、双対性によって新しい回路トポロジが開発されることもあります。

ご注意

1. 本資料に記載された製品の仕様は、予告なく変更することがあります。
2. 本資料の内容については、万全を期しておりますが、万一ご不明な点などがありましたら、弊社までお申しつけください。
3. 本資料に記載された情報に起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、弊社は一切の責任を負いません。
4. 本資料によって第三者または弊社の特許権その他権利の実施権を許諾するものではありません。
5. 弊社の書面許諾なく、本資料の一部または全部を無断で複製することを固くお断りします。
6. 本資料に記載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。