

# 単巻リアクタを使った浮動出力DC-DCコンバータとその応用

山崎 博久  
Hirohisa Yamazaki

## 1. まえがき

PCサーバーによるネットワーク化が進み、無停電電源装置(以下「UPS」という。)は小型軽量、低価格がますます求められるようになった。また、UPSは、単に停電時のバックアップのみではなく、負荷機器が発生する高調波を吸収し商用電力ラインの清浄化および力率改善の役割も担っている。

このような目的を達成するために、UPSの整流回路としてさまざまな回路が発表されており、当社においても昇圧チョップタイプや高周波絶縁による方式で製品化されている。しかし200V入力には2章で述べるような問題により応用が困難なところがあった。

このたび、単巻リアクトルと半導体スイッチにより構成され、入力から浮いた(切離された)出力を発生させることができるDC-DCコンバータを開発し<sup>(1)</sup>、それを整流回路に用いた3kVAのUPSを商品化した。本稿では、このDC-DCコンバータおよびUPSの動作方式とその特性について報告する。

## 2. 小型UPS用整流回路の要件

冒頭にも述べたように小型UPSの主な負荷はコンピュータであり、その電源回路のスイッチングレギュレータへ交流電力を供給するものである。したがってUPSの出力電流は電流波高値の高い、多くの高調波を含んだものである。さらにそのスイッチングレギュレータの入力回路には、サージ保護用アレスタやセラミックバリスタ、ノイズ保護用高周波フィルタが設置されているので、これらの対アース電位が異常とならないように、アースと入出力のニュートラルライン間の電位差を0に近づける必要がある。

そのためUPSの入出力間が絶縁される必要は必ずしも無く、むしろ入出力のニュートラルラインが直接接続されることが好ましい。

図1に汎用インバータで使われる全波整流回路+フルブリッジインバータを組み合わせた場合を示す。

図1において、インバータ出力は中間に存在する直流電圧が出力電圧に重畳されることになり、入力のニュートラルラインと出力ラインの電位差により両者を接続することは不可能である。このため対アース電位が不安定となり、負荷側のバリスタの焼損やノイズによるトラブルを発生しかねない。

入出力のニュートラルラインを接続するためには、まず入出力を絶縁する方法が考えられる。

図2に出力に絶縁トランスを接続した場合を示す。

図2において、絶縁トランスは入力側に接続されてもよいし、また高周波変換によるDC-DCコンバータを中間に接続してもよい。しかし絶縁トランスは大きくて重く、また価格も高い。DC-DCコンバータは回路構成が複雑となり、また大容量になるとトランスの製造が難しいため小容量の機種に適用される。

これらの絶縁回路を使わずに倍電圧整流回路+ハーフブリッジインバータの組み合わせにより、入力と出力のニュートラルラインを直結することができる。

図3に倍電圧整流回路+ハーフブリッジインバータの組み合わせ回路を示す。図3において整流回路は、高力率コンバータ回路であり入力電圧の変動を考えると中間の直流電圧は

$$100V \times 1.15 \times \sqrt{2} \times 2 = 325V$$

となる。さらに200V回路ではこの2倍の電圧とする必要があり、後段のインバータ回路に使用する半導体は耐圧の高い素子が必要となり効率面で不利となる。

また、高電圧のため空間距離や沿面距離が大きくなり小型化の面でも不利となる。

また、ハーフブリッジインバータは半波整流器負荷のようなアンバランス負荷が印加されると、コンデンサの中心電位が変動して負荷の偏磁やコンデンサの耐圧不足を生じるおそれがある。

以上のように、回路方式によりさまざまな長所、短所があるが、今回200V入出力3kVA以上のUPSを開発するにあたりこのような問題解決のために浮動出力DC-DCコンバータ(Floating Converter以下「FCON」という。)を開発した。

---

### 3. FCONの回路

---

#### 3.1 FCONの動作

入力に対して浮動の出力が得られるFCONの回路を図4(A)に示す。

2個の半導体スイッチQ1、Q2を介してリアクタLに入力からのエネルギーを蓄え、2個のダイオードD1、D2を介してこのエネルギーを放出し出力する。この動作はフライバックコンバータや極性反転チョップの動作と同一であるが、絶縁のための変圧器が不要である。また極性反転チョップ回路であるため漏れインダクタンスによるスパイク電圧はCdcに吸収されるのでスパイク電圧の発生は抑制される。

FCONにより浮動出力が得られる原理を以下に説明する。

図4(B)はリアクタLへのエネルギー蓄積モードである。

Q1、Q2をONさせると直流電源からリアクタLに電流が流れLに電磁エネルギーを蓄える。

ここで必要とされるリアクタ容量は入力インピーダンスの約4%が必要であり、変圧器と比較して極端に小型になる。

蓄積モードの間、ダイオードD1、D2はリアクタLとコンデンサCdcの電圧により逆バイアスされているので出力側へ電流が流れず入力と切離された状態になる。

Q1、Q2をOFFすると図4(C)のエネルギー放出モードになる。蓄積モードで蓄えられたLのエネルギーはD1、D2を介してコンデンサCdc、および負荷側に放出される。

この間Q1、Q2がOFFとなっているので入力側とは遮断されている。(B)、(C)の2つのモードを繰り返すことにより入力から浮いた出力が得られる。

図4(D)に回路を構成する各半導体デバイスの電流パターンを示す。Q1、Q2の電流IqおよびD1、D2の電流Idは次の勾配をもってそれぞれ増減する。

$$\frac{dI_q}{dt} = \frac{E_{in}}{L} \quad \dots(1)$$

$$\frac{dI_d}{dt} = -\frac{E_{out}}{L} \quad \dots(2)$$

Q1、Q2のスイッチングデューティ比Dと出力電圧は半導体デバイスの電圧降下およびリアクタの抵抗分をゼロと仮定すると次式の関係にある。

$$\frac{E_{in}}{E_{out}} = \frac{D}{1-D} \quad \dots(3)$$

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad \dots(4)$$

図4(E)は入出力とデューティ比の関係を図示したものである。この図からわかるように、デューティにより入力電圧を降圧させることも昇圧させることも可能であるが、デューティ比が0.5以上になると非線型性が強くなり制御性が劣化する。

## 3.2 FCONの制約

FCONで使われる単巻リアクタは漏洩インダクタンスの問題がないため製造しやすく大型の装置にも実用性が期待される。

しかし、FCONの浮動出力変換は受動部品の変圧器に比べて制約がある。FCONの浮動出力は半導体スイッチとダイオードをタイムシェアリングでONさせることにより得られる。この切替要素のうちダイオードは受動素子であるため外部条件によって順バイアスが加わると遮断すべき期間であっても通電してしまう。つまり、入出力間が直結するモードが生じて浮動出力に必要な切り離し機能が失われてしまう。

図5はFCONの使用上の禁止条件である。

図において、外部から電圧 $E_x$ が加わるとスイッチQ1にIGBT・FET・トランジスタを使用している場合、逆電圧を阻止できないのでダイオードD1が通電する。

同じように電圧 $E_y$ が加わるとD2が通電し、いずれも入出力間が直結し浮動の出力が得られなくなる。また、Q1、Q2や、D1、D2に並列にスナバ回路等を接続するとそれを通して入出力間が接続されることになるのでスナバの構成に注意が必要である

---

## 4. FCONのUPSへの適用

### 4.1 整流回路の構成

2章、3章で述べたようにUPS用整流回路に必要な浮動出力をFCONは備えており、さらに入力側を切離すための半導体スイッチQ1、Q2をソフトスタートさせることにより、始動時のコンデンサ $C_{dc}$ への突入電流を抑制できるので特別に突入電流抑制回路を設ける必要が無い。また基本的な動作はフライバックコンバータであるので、入力電圧を基準としこれとリアクタLに流れる電流を比較し、電流を正弦波となるように制御することにより高力率コンバータとしての動作が可能となる。

図6に高力率コンバータとしての構成を示す。

上記回路により高力率コンバータとしての特性は  
入力力率:99.3% 定格入出力時  
変換効率:88.4% 同上  
であった。

図7 FCONを高力率コンバータとした場合の各部波形。

### 4.2 FCONを使ったUPS

図8にFCONを使ったUPSの構成を示す。

4.1節の整流回路の出力電圧はフルブリッジ構成のインバータに与えられ、インバータは定周波定電圧の正弦波交流電圧を出力する。この出力はFCONによってUPSの入力から浮いたものになっている。

交流入力側に接続されたLO、COは、半導体スイッチQ1、Q2のスイッチングにより生じるリップルを抑制し高周波ノイズを吸収するフィルターである。

ACフィルタはDCバスとAC出力端をコンデンサで接続した構成となっている。

これで後述のFCONのダイオードD1、D2の逆バイアス電圧を確保し、ノイズの回り込みを防ぐ。

交流入力電源のニュートラルラインと出力の1線とを共通に接続することで、2章で述べた対地関連の問題に対処する。

この入出力間の共通接続線がFCONの稼動に支障をきたさないか以下に考察する。

前述のようにFCONを健全に機能させるにはダイオードに不要な順バイアスが印加されないことが必要である。ダイオードのバイアス状況を図9のバイアスモードで説明する。

図9(A)、(B)はダイオードD1のバイアス状況を示す。(A)のモードではインバータのACフィルタコンデンサC1の電圧が入出力接続線を介してD1に逆バイアスとして印加されており、これが順バイアスとなることはない。(B)ではACフィルタコンデンサC0とC1の電圧の和がD1に逆バイアスとして印加される。(C)、(D)はダイオードD2のバイアスモードである。(C)ではC0とC2の電圧の和がD2を逆バイアスし、(D)ではC2の電圧が逆バイアスする。

以上のようにQ1、Q2の通電期間中にはダイオードD1、D2が順バイアスされることはないので、FCONをUPSに適用しても支障なく機能を発揮できる。

開発した3kVAUPSと従来の3kVAUPSの比較を示す。

内容	新UPS	従来のUPS
体積	51リットル	101リットル
質量	75kg	125kg
入力力率	99.3%	99%
入力電圧範囲	170V～265V	176V～224V
総合効率	84.3%	78.9%
ノイズ規格	VCCI認定	VCCI準拠

注：従来UPSはASH30入出力200Vタイプ

## 5. むすび

単巻リアクタを使った、浮動出力のDC-DCコンバータ(FCON)を、高力率コンバータ構成としUPSの整流器部に適用した単相、200V、3kVA出力のUPSで検証した。

その特徴は以下のとおりである。

- (1) FCONは浮動出力を得るのに単巻リアクタを用いるので製造し易く、電力変換容量の大きな装置の製造が可能である。
- (2) FCONは昇圧も降圧も可能なので許容入力電圧変動範囲が広い装置が実現できた。
- (3) 従来は商用周波数の変圧器を使用していたため装置寸法が大きく、重量が重かったが、小型、軽量化が実現できた。
- (4) 商用周波数の変圧器はコストが高く、これが無くなったことでコストダウンが実現できた。

今後の検討課題として三相回路への適用、効率アップなどがあるが上記特徴により今後の発展が期待できる。

## 文献

- (1) 関野・山崎：「単巻リアクタを使った浮動出力DC-DCコンバータ」電子情報通信学会技術研究報告、EE98-1(1998-6)

---

山崎 博久  
1974年入社  
パワーシステム事業部設計第2部  
小容量UPSの開発、設計に従事。

---

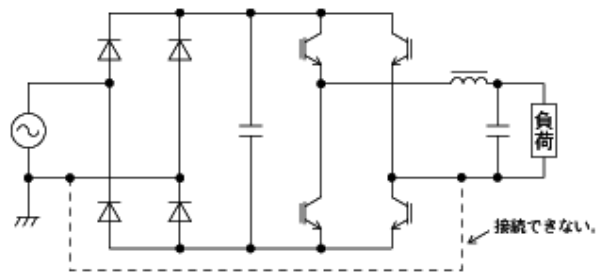


図1 全波整流+フルブリッジインバータ

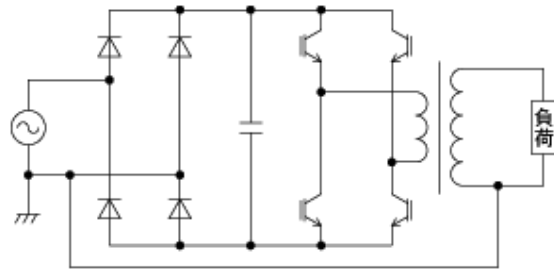


図2 絶縁トランスを接続

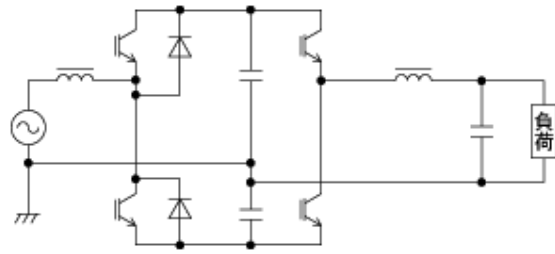
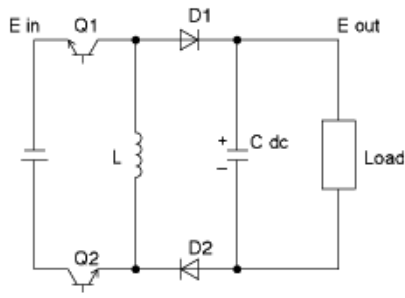
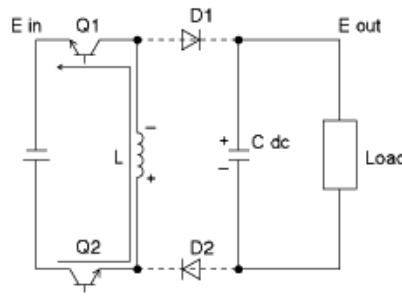


図3 倍電圧整流+ハーフブリッジインバータ

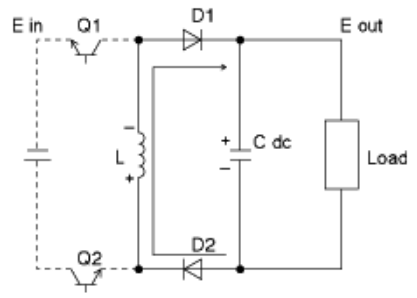




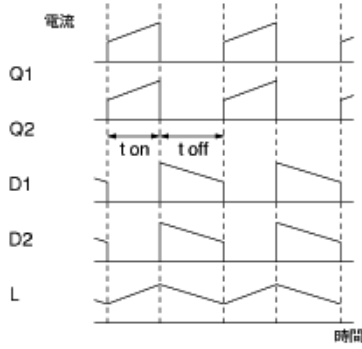
(A)回路構成



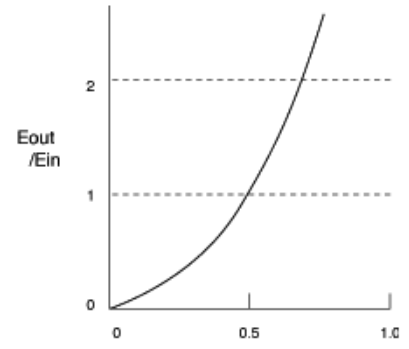
(B)蓄積モード



(C)放出モード



(D)各半導体デバイスの電流パターン



(E)デューティ化

図4 FCONの回路および動作原理

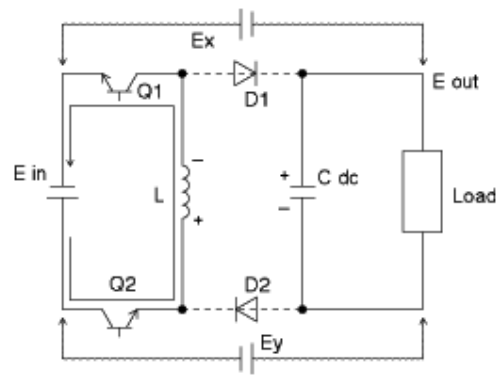
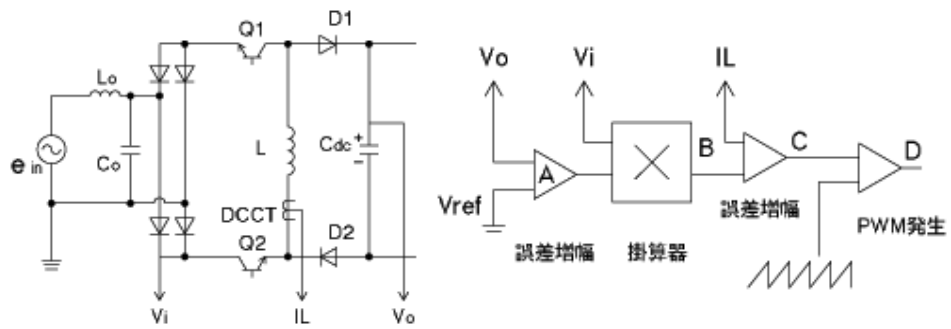
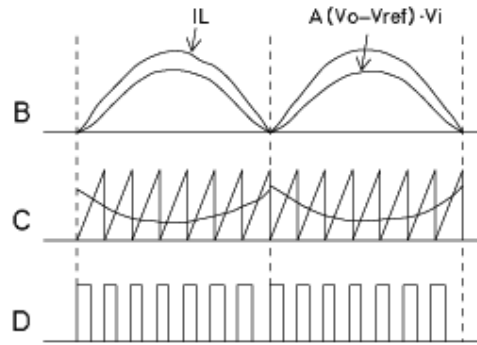


図5 FCONの禁止条件



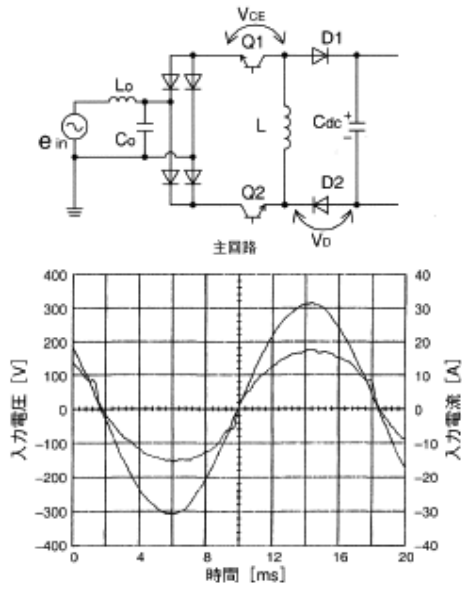
(A)主回路構成

(B)制御回路構成

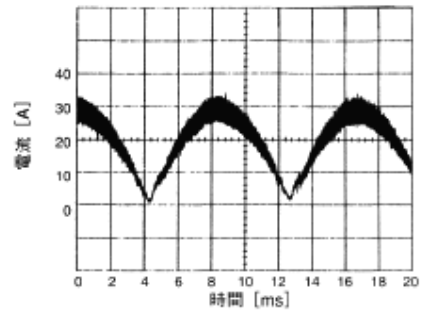


(C)動作説明

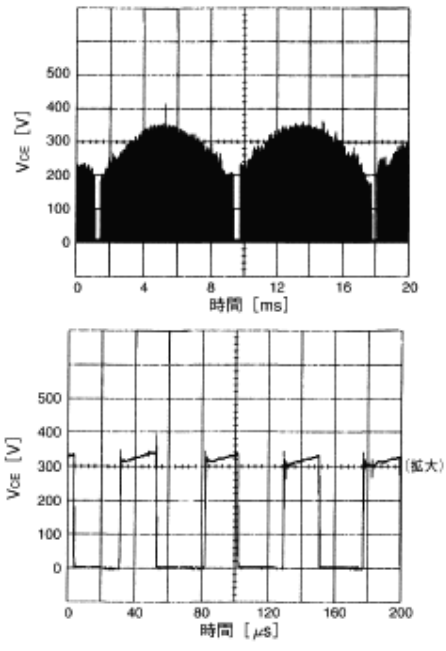
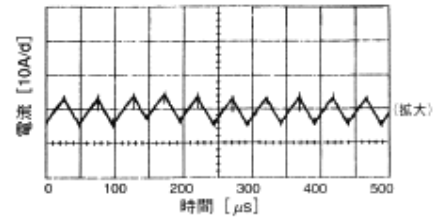
図6 高力率コンバータとしての構成



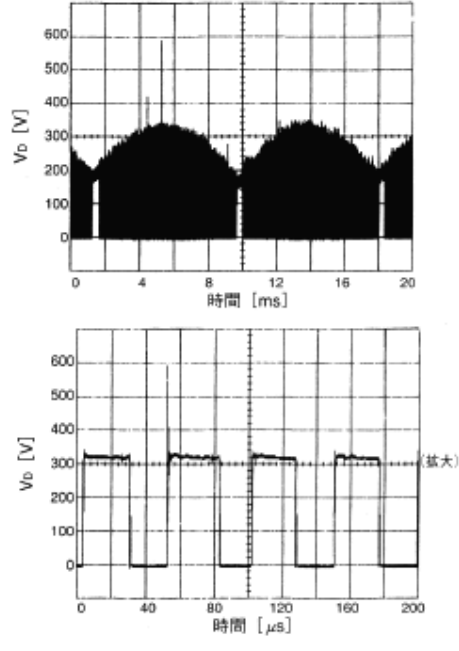
(A)入力電圧・電流波形



(C)リアクタLの電流波形



(B) $V_{CE}$ 波形



(D) $V_d$ 波形

図7 FCONを高力率コンバータとした場合の各部波形

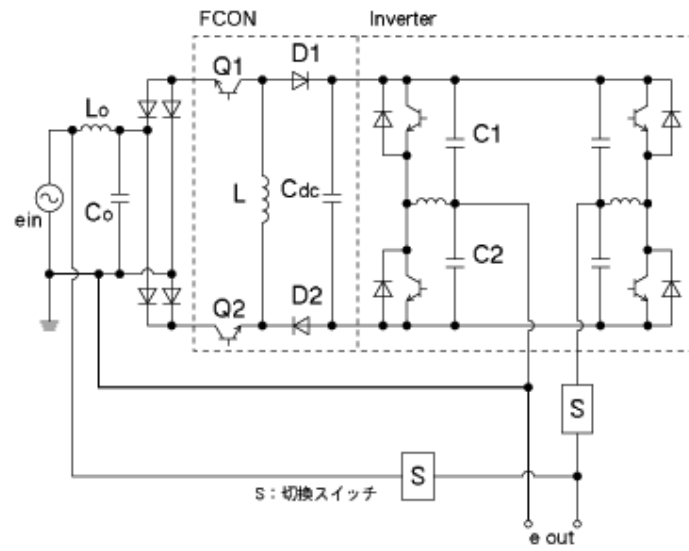


図8 FCONを使ったUPSの構成

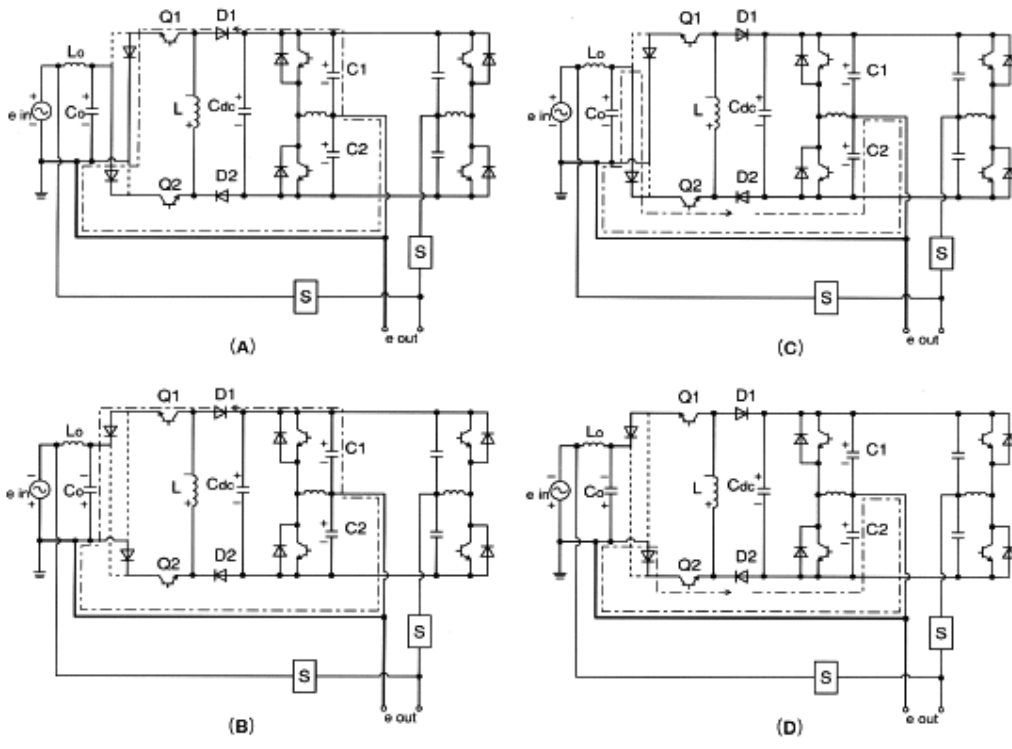


図9 FCONダイオードのバイアスマード