

1 kW フルブリッジ方式 DC-DC コンバーター 回路動作ガイド

RD170-OGUIDE-01

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1. はじめに	3
2. 位相シフトフルブリッジ(PSFB)DC-DC コンバーター回路.....	3
3. 動作信号および出力波形	4
3.1. 動作信号および出力波形	4
3.2. 実際の動作信号波形	12

1. はじめに

本ガイドは1 kWフルブリッジ方式DC-DCコンバーター(以下、本電源)で採用した位相シフトフルブリッジ回路の動作概要を説明したドキュメントです。本電源の仕様、使用方法、特性データはリファレンスガイドを、各部の回路設計はデザインガイドを参照してください。

2. 位相シフトフルブリッジ(PSFB)DC-DCコンバーター回路

図2.1に位相シフトフルブリッジ (PSFB) DC-DCコンバーターの回路を示します。図1.1の $Q_1 \sim Q_8$ はMOSFETを示し、 $D_{Q1} \sim D_{Q8}$ はMOSFETのボディダイオードを示しています。また $C_{Q1} \sim C_{Q8}$ はMOSFETの寄生容量を示し、 L_r は変圧器TRのリーケージインダクタンスを示しています。本電源の回路動作のポイントを記載します。

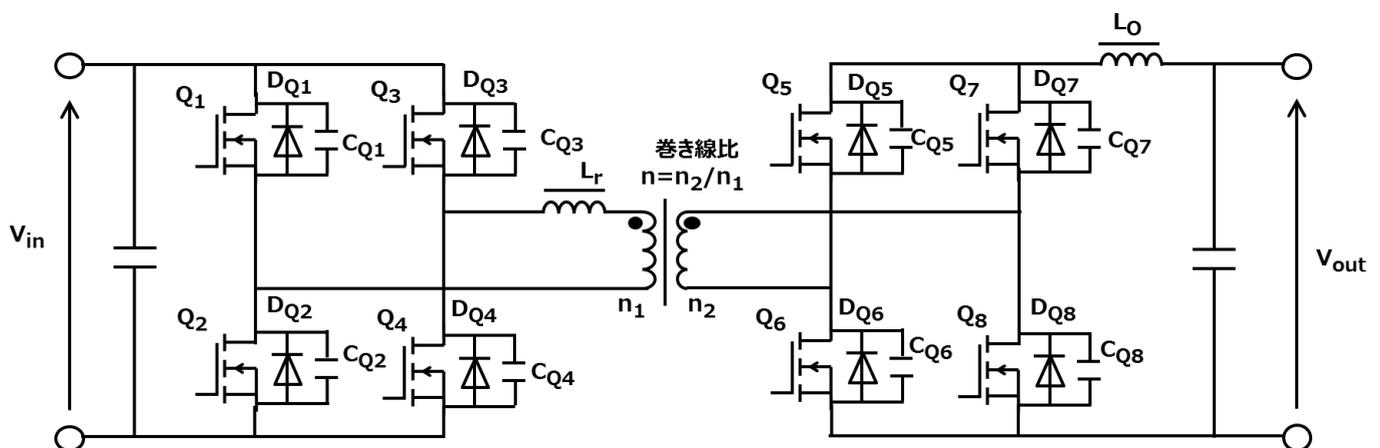


図2.1 動作説明回路

3. 動作信号および出力波形

図3.1に各MOSFETの入力ゲート信号波形および一次側および二次側の出力電圧、電流波形の例を示します。波形はあくまでイメージであり上下MOSFETのスイッチング切り替えにおけるデットタイムは実際より長く書かれています。

一次側の Q_1 と Q_2 はデューティ50%および互いの位相ずれ180度でスイッチングされます。 Q_3 と Q_4 も同様です。 Q_3 と Q_4 のスイッチング信号は Q_1 と Q_2 のスイッチング信号に対して位相シフトされています。この位相シフトにより対角線上に位置するMOSFETの重複量が決まり、この重複期間で伝達されるエネルギー量が決まります。二次側は一次側から伝達されるエネルギーを整流する回路になっています。

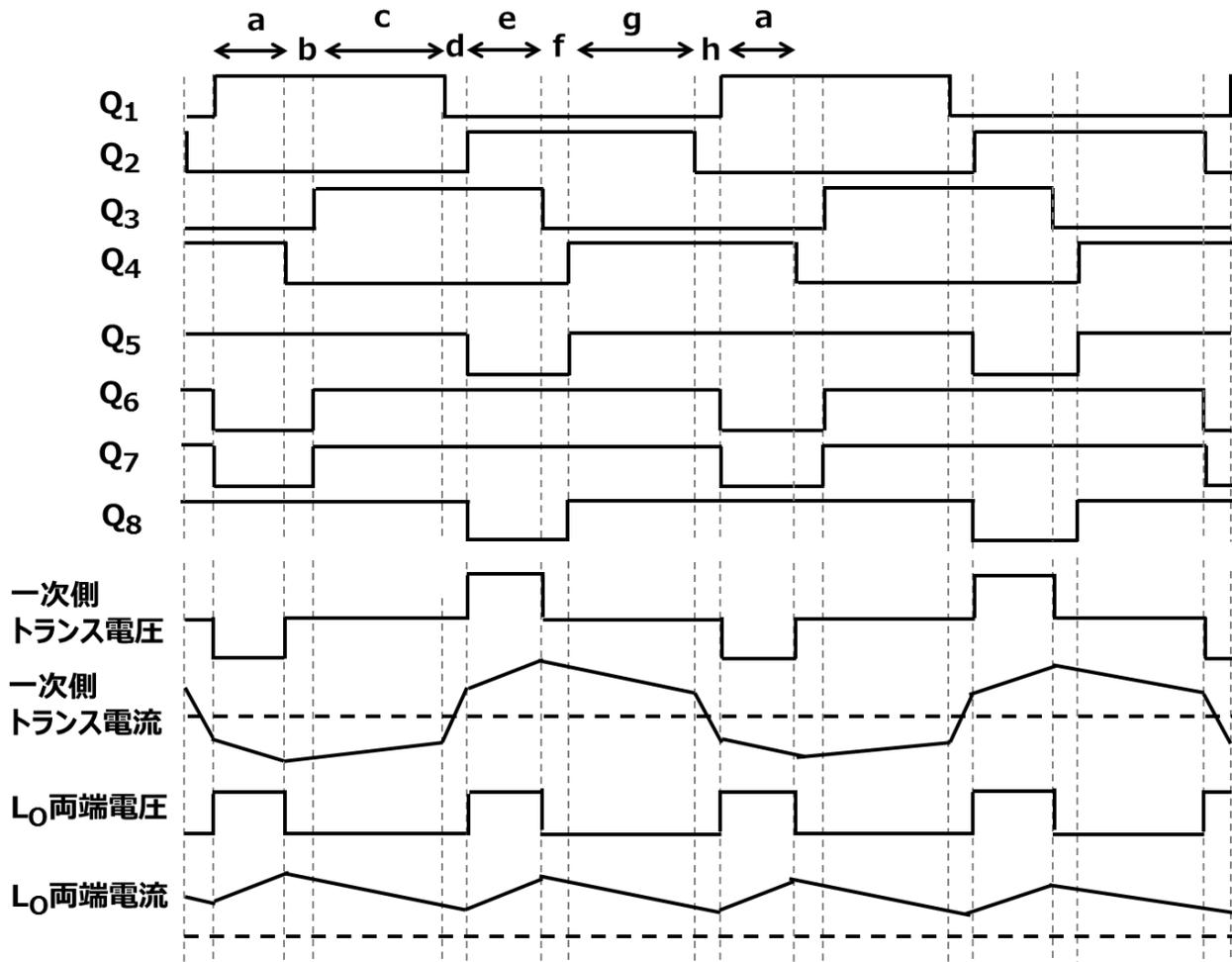


図3.1 入力信号および出力電圧、電流波形

3.1. 動作信号および出力波形

図3.1に示すa~hの各期間での回路動作について説明します。

期間a : 二次側に電力供給

【一次側】 Q₁、Q₄オン

一次側から二次側に変圧器TRを通して電力を伝達する期間です。この時の一次側巻き線電圧は入力電圧 (V_{in}) となります。変圧器TRの一次側には入力電圧 V_{in} が負方向に印加されています。

【二次側】 Q₅、Q₈オン

二次側巻き線には巻線比に応じた電圧 $n \times V_{in}$ が掛かります。二次巻き線側の電流はQ₅のソースからドレインを通過してL_oに流れ、Q₈のソースからドレインを通過して二次巻き線に帰ってきます。二次側に電力が供給される期間です。

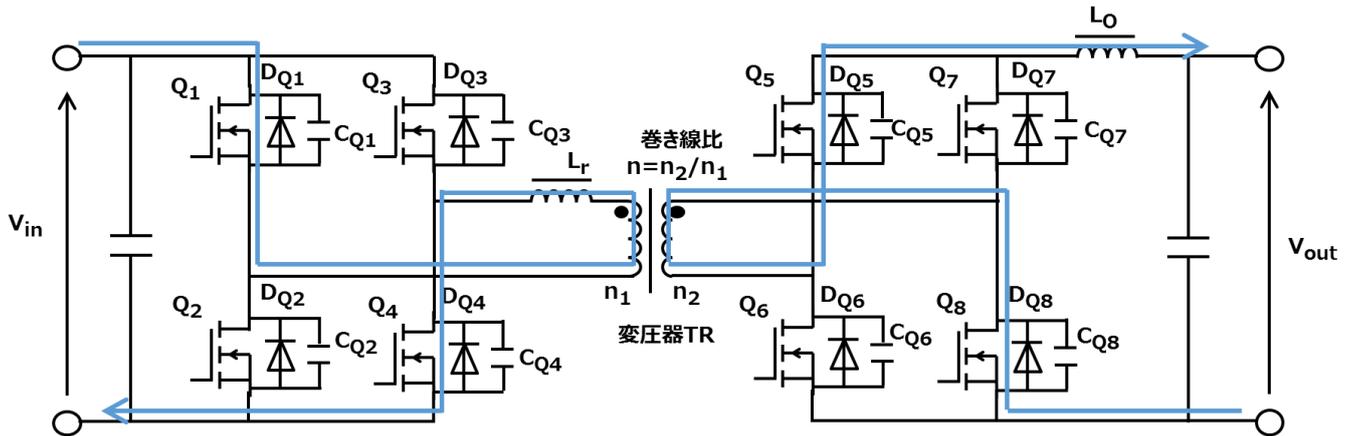


図3.2 期間a動作

期間b-1 : C_{Q3}、C_{Q4}充放電

【一次側】 Q₁のみオン

Q₄がターンオフすると次の経路でC_{Q4}が充電されます。

$$V_{in} \text{ プラス側} \rightarrow Q_1 \rightarrow n_1 \text{ 巻き線} \rightarrow L_r \rightarrow C_{Q4} \rightarrow V_{in} \text{ マイナス側}$$

Q₄がターンオフする瞬間はC_{Q4}の電圧は0 VなのでQ₄のターンオフはZVSになります。C_{Q4}の充電と同時にC_{Q3}が次の経路で放電します。

$$C_{Q3} \rightarrow Q_1 \rightarrow n_1 \text{ 巻き線} \rightarrow L_r \rightarrow C_{Q3}$$

C_{Q3}とC_{Q4}の充放電が完了すると次の動作に進みます。

【二次側】 Q₅、Q₈オン

期間aの動作を継続します。

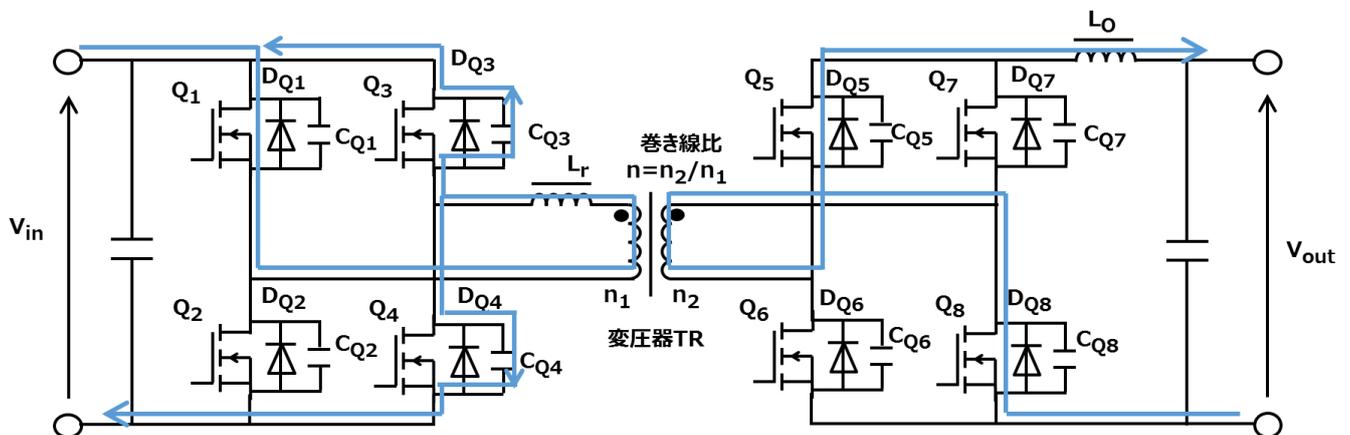


図3.3 期間b-1動作

期間b-2 : D_{Q3}導通

【一次側】 Q₁のみオン

C_{Q3}とC_{Q4}の充放電が完了してもL_rに蓄積されたエネルギーが次の経路で流れ続けます。

$$L_r \rightarrow D_{Q3} \rightarrow Q_1 \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow L_r$$

この状態でQ₃がターンオンして次の動作に移行します。この時D_{Q3}が導通しているためQ₃の電圧はほぼ0 Vであり、Q₃のターンオンはZVSになります。

【二次側】 Q₅、Q₈オン

期間aの動作を継続します。

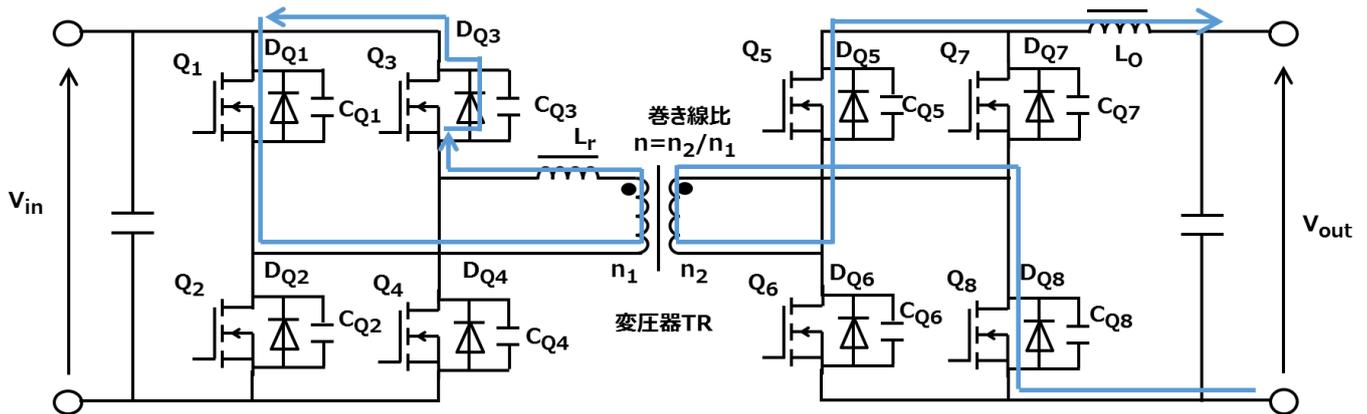


図3.4 期間b-2動作

期間c : Q₃導通 循環モード

【一次側】 Q₁、Q₃オン

Q₃がオンした後もL_rのエネルギーで引き続き次の経路で電流が流れます。

$$L_r \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_1 \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow L_r$$

L_rの電流は徐々に減少し、L_rに蓄積されたエネルギーも徐々に減少します。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

二次側はQ₅、Q₈に加えQ₆、Q₇がオンし、Q₈のソースからドレイン → n₂巻き線 → Q₅のソースからドレインを通した経路に加え、Q₇のドレインからソース → n₂巻き線 → Q₆のドレインからソースの経路で電流が流れます。

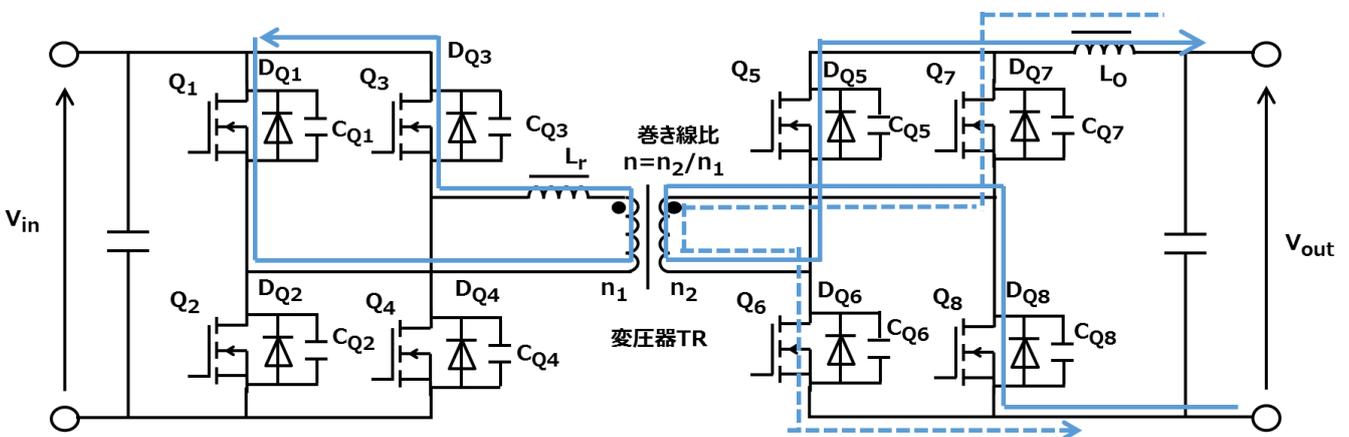


図3.5 期間c動作

期間d-1 : C_{Q1}、C_{Q2}充放電

【一次側】 Q₃のみオン

Q₁がターンオフした後もL_rのエネルギーで引き続き次の経路で電流が流れます。

$$L_r \rightarrow Q_3 \rightarrow C_{Q1} \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow L_r$$

C_{Q1}の充電と同時にC_{Q2}が次の経路で放電します。

$$L_r \rightarrow Q_3 \rightarrow V_{in} \rightarrow C_{Q2} \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow L_r$$

C_{Q1}とC_{Q2}の充放電が完了すると次の動作にいきます。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間cの動作を継続します。

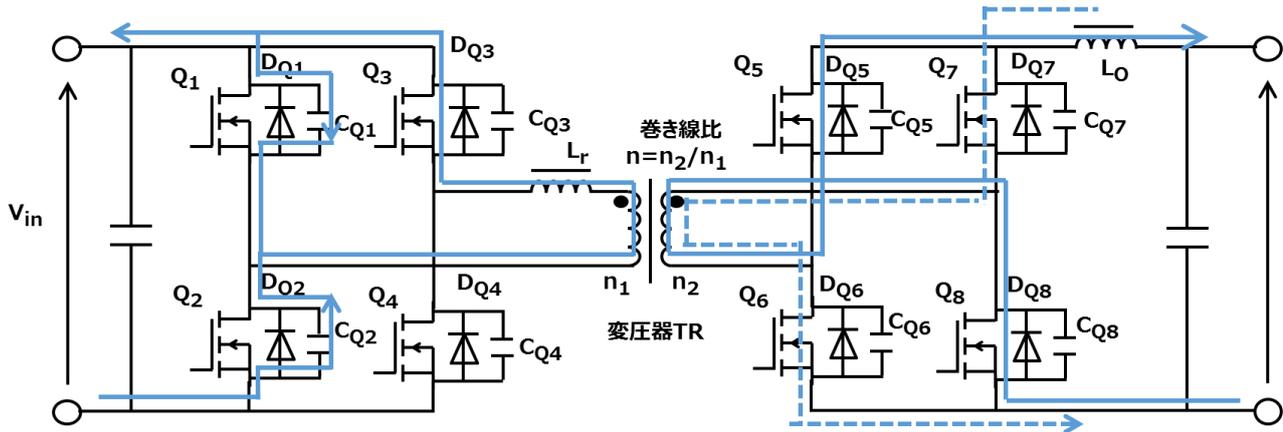


図3.6 期間d-1動作

期間d-2 : D_{Q2}導通

【一次側】 Q₃のみオン

C_{Q1}とC_{Q2}の充放電が完了してもL_rに蓄積されたエネルギーが次の経路で流れ続けます。

$$L_r \rightarrow Q_3 \rightarrow V_{in} \rightarrow D_{Q2} \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow L_r$$

この状態でQ₂がターンオンして次の動作に移行します。この時D_{Q2}が導通しているためQ₂の電圧はほぼ0 Vであり、Q₂のターンオンはZVSになります。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間cの動作を継続します。

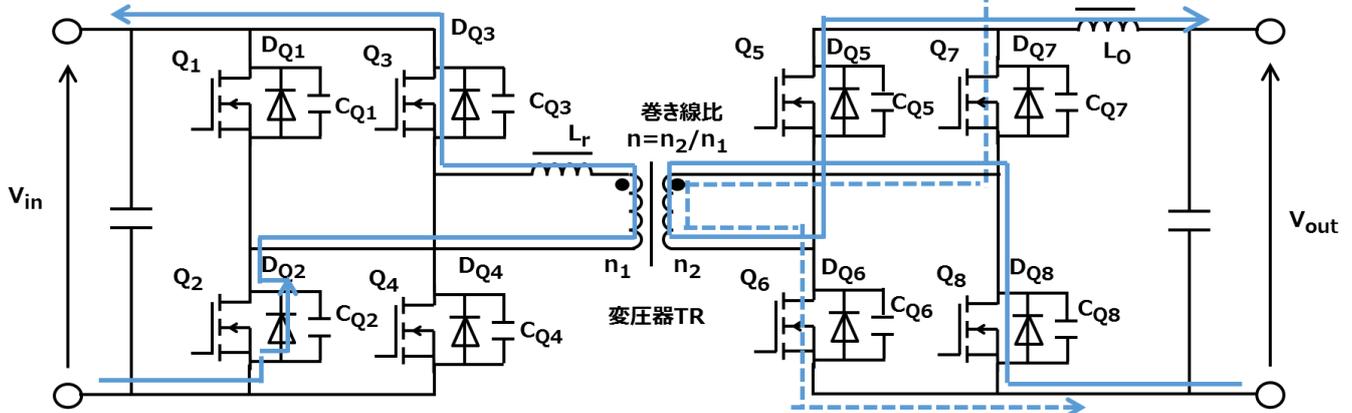


図3.7 期間d-2動作

期間d-3 : Q₂導通

【一次側】 Q₂、Q₃オン

Q₂がオンした後もL_rのエネルギーで引き続き次の経路で電流が流れます。

$$L_r \rightarrow Q_3 \rightarrow V_{in} \rightarrow Q_2 \rightarrow n_1 \text{ 巻き線} \rightarrow L_r$$

L_rには入力電圧V_{in}が電流を妨げる方向に印加されL_rの電流は急速に減少し、すぐに反転して次の動作に移ります。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間cの動作を継続します。

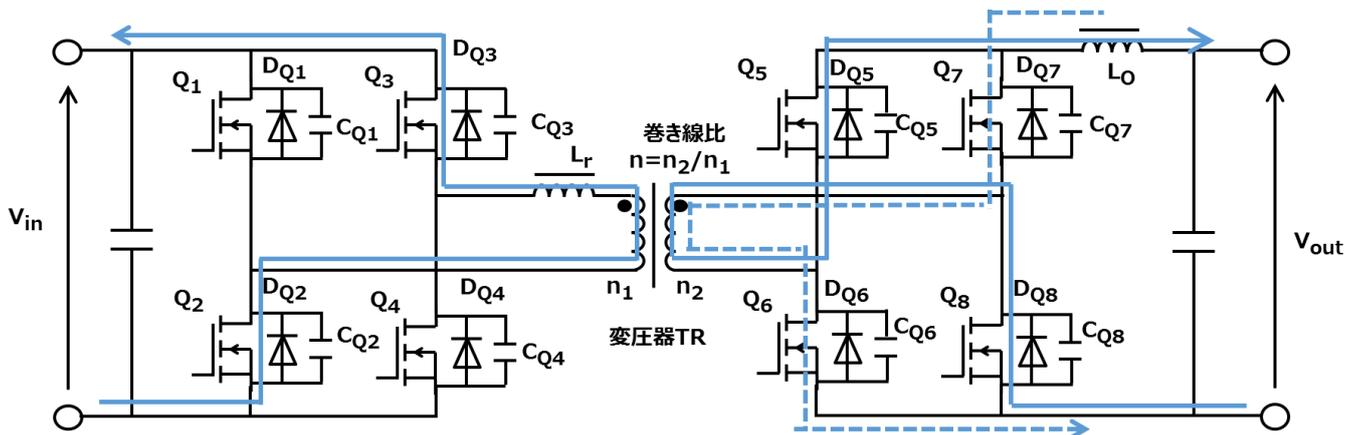


図3.8 期間d-3動作

期間e : 二次側に電力供給

【一次側】 Q₂、Q₃オン

一次側から二次側に変圧器TRを通して電力を伝達する期間です。この時の一次側巻き線電圧は入力電圧 (V_{in}) となります。

【二次側】 Q₆、Q₇オン

二次側巻き線には巻線比に応じた電圧n×V_{in}が掛かります。二次巻き線側の電流はQ₇のソースからドレインを通過してL_oに流れ、Q₆のソースからドレインを通過して二次巻き線に帰ってきます。二次側に電力が供給される期間です。

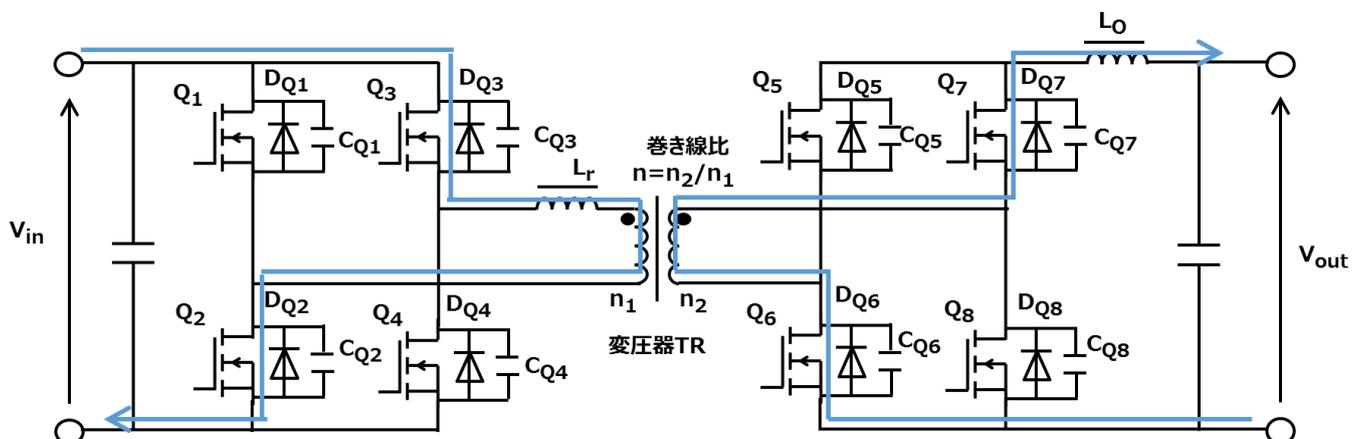


図3.9 期間e動作

期間f-1 : C_{Q3}、C_{Q4}充放電

【一次側】 Q₂のみオン

Q₃がターンオフすると次の経路でC_{Q3}が充電されます。

V_{in} プラス側 → C_{Q3} → L_r → n₁巻き線 → Q₂ → V_{in}マイナス側

Q₃がターンオフする瞬間はC_{Q3}の電圧は0 VなのでQ₃のターンオフはZVSになります。

C_{Q3}の充電と同時にC_{Q4}が次の経路で放電します。

C_{Q4} → L_r → n₁巻き線 → Q₂ → C_{Q4}

C_{Q3}とC_{Q4}の充放電が完了すると次の動作に進みます。

【二次側】 Q₆、Q₇オン

期間eの動作を継続します。

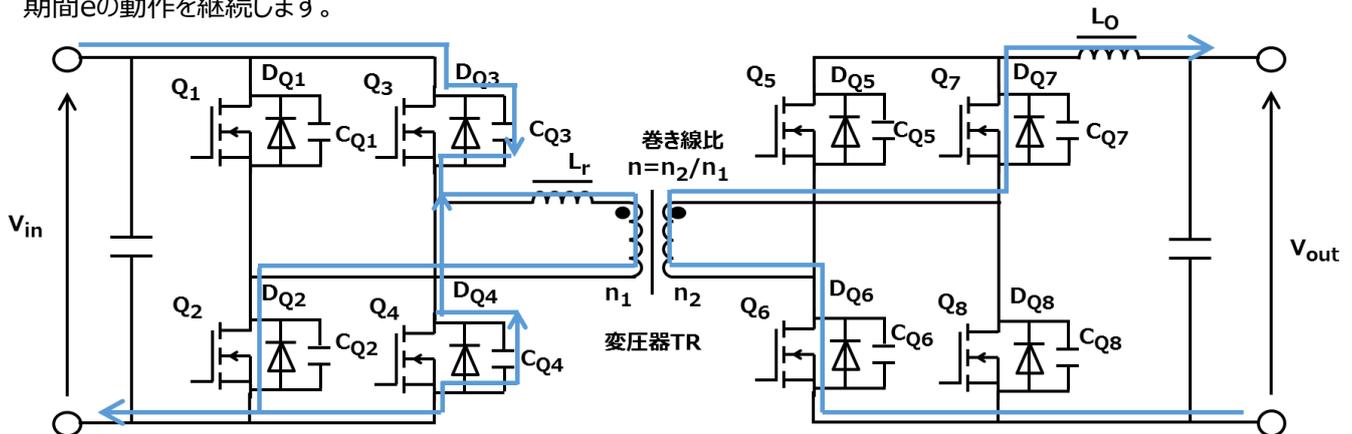


図3.10 期間f-1動作

期間f-2 : D_{Q4}導通

【一次側】 Q₂のみオン

C_{Q3}とC_{Q4}の充放電が完了してもL_rに蓄積されたエネルギーが次の経路で流れ続けます。

L_r → n₁巻き線 → Q₂ → D_{Q4} → L_r

この状態でQ₄がターンオンして次の動作に移行します。この時D_{Q4}が導通しているためQ₄の電圧はほぼ0Vであり、Q₄のターンオンはZVSになります。

【二次側】 Q₆、Q₇オン

期間eの動作を継続します。

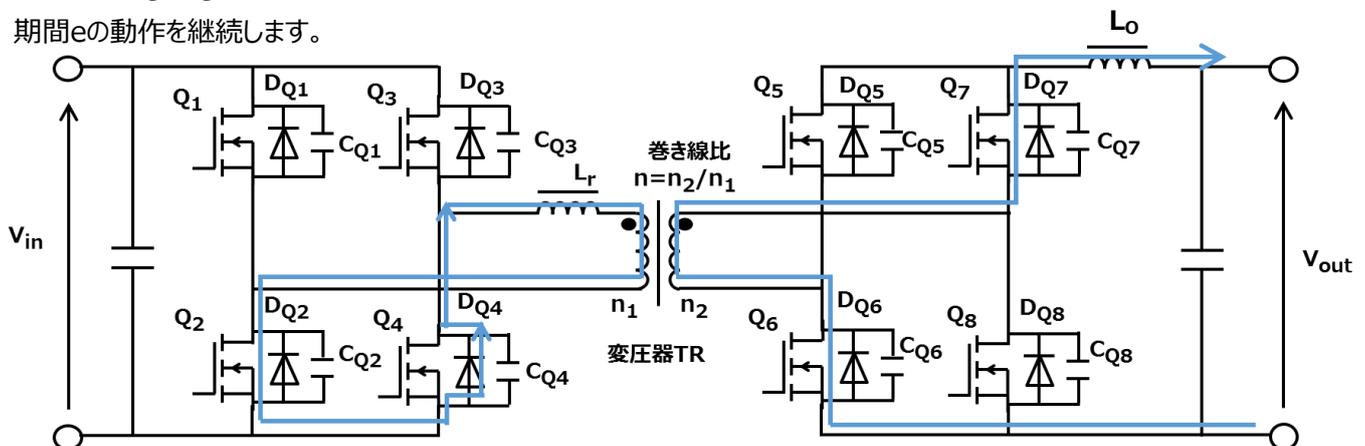


図3.11 期間f-2動作

期間g : Q₄導通 循環モード

【一次側】 Q₂、Q₄オン

Q₄がオンしたあともL_rに蓄積されたエネルギーが次の経路で流れ続けます。

$$L_r \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_4 \rightarrow L_r$$

L_rの電流は徐々に減少し、L_rに蓄積されたエネルギーも徐々に減少します。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

二次側はQ₆、Q₇に加えQ₅、Q₈がオンし、Q₆のソースからドレイン→n₂巻き線→Q₇のソースからドレインを通した経路に加え、Q₅のドレインからソース→n₂巻き線→Q₈のドレインからソースの経路で電流が流れます。

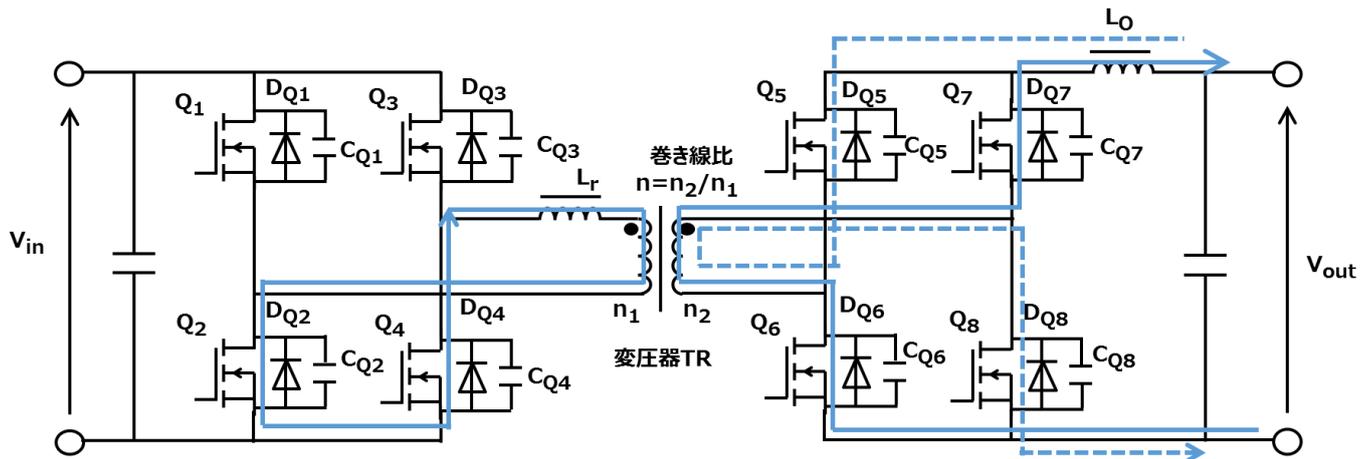


図3.12 期間g動作

期間h-1 : C_{Q1}、C_{Q2}充放電

【一次側】 Q₄のみオン

Q₂がターンオフした後もL_rのエネルギーで引き続き次の経路で電流が流れます。

$$L_r \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow C_{Q2} \rightarrow Q_4 \rightarrow L_r$$

C_{Q2}の充電と同時にC_{Q1}が次の経路で放電します。

$$L_r \rightarrow n_1 \text{巻き線} \rightarrow C_{Q1} \rightarrow V_{in} \rightarrow Q_4 \rightarrow L_r$$

C_{Q1}とC_{Q2}の充放電が完了すると次の動作にいきます。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間gの動作を継続します。

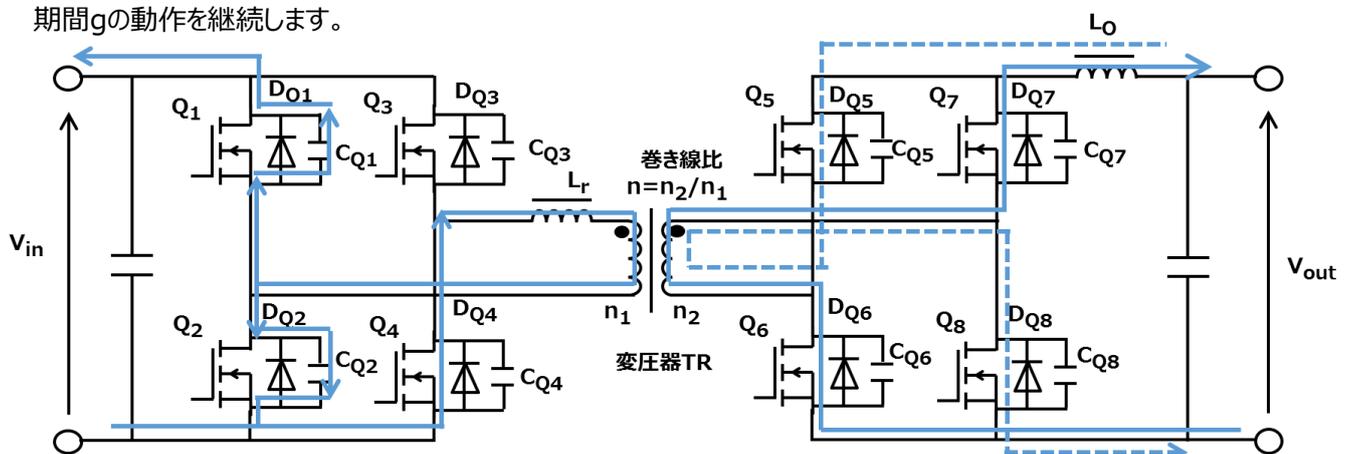


図3.13 期間h-1動作

期間h-2 : D_{Q1}導通

【一次側】 Q₄のみオン

C_{Q1}とC_{Q2}の充放電が完了してもL_rに蓄積されたエネルギーが次の経路で流れ続けます。

$$L_r \rightarrow n_1 \text{ 巻き線} \rightarrow D_{Q1} \rightarrow V_{in} \rightarrow Q_4 \rightarrow L_r$$

この状態でQ₁がターンオンして次の動作に移行します。この時D_{Q1}が導通しているのでQ₁の電圧はほぼ0Vであり、Q₁のターンオンはZVSになります。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間gの動作を継続します。

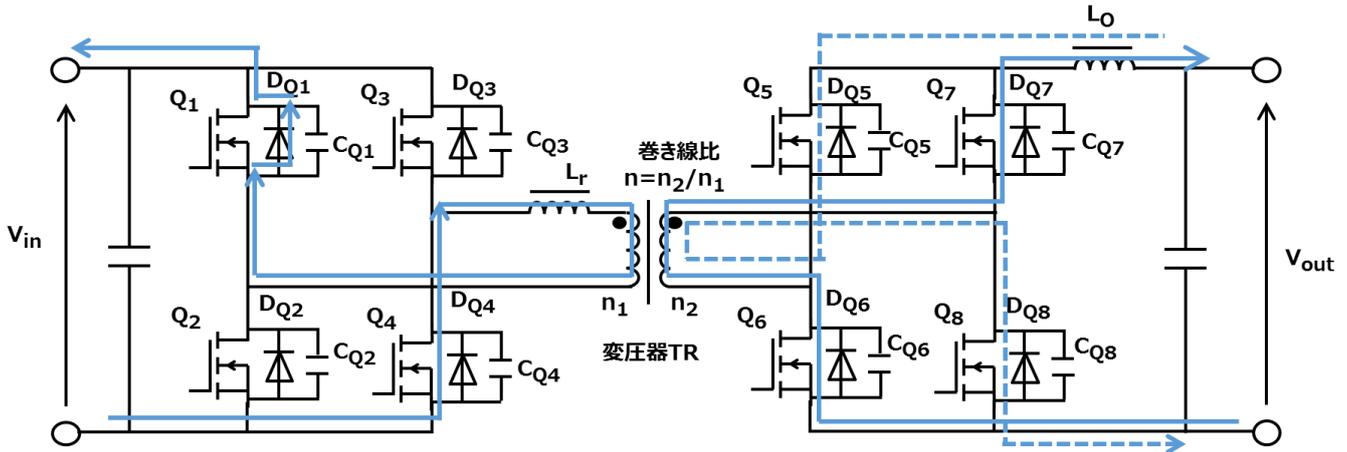


図3.14 期間h-2動作

期間h-3 : Q₁導通

【一次側】 Q₁、Q₄オン

Q₁がオンした後L_rのエネルギーで引き続き次の経路で電流が流れます。

$$L_r \rightarrow n_1 \text{ 巻き線} \rightarrow Q_1 \rightarrow V_{in} \rightarrow Q_4 \rightarrow L_r$$

L_rには入力電圧V_{in}が電流を妨げる方向に印加されL_rの電流は急速に減少し、すぐに反転して次の動作に移ります。

【二次側】 Q₅、Q₈、Q₆、Q₇オン

期間gの動作を継続します。

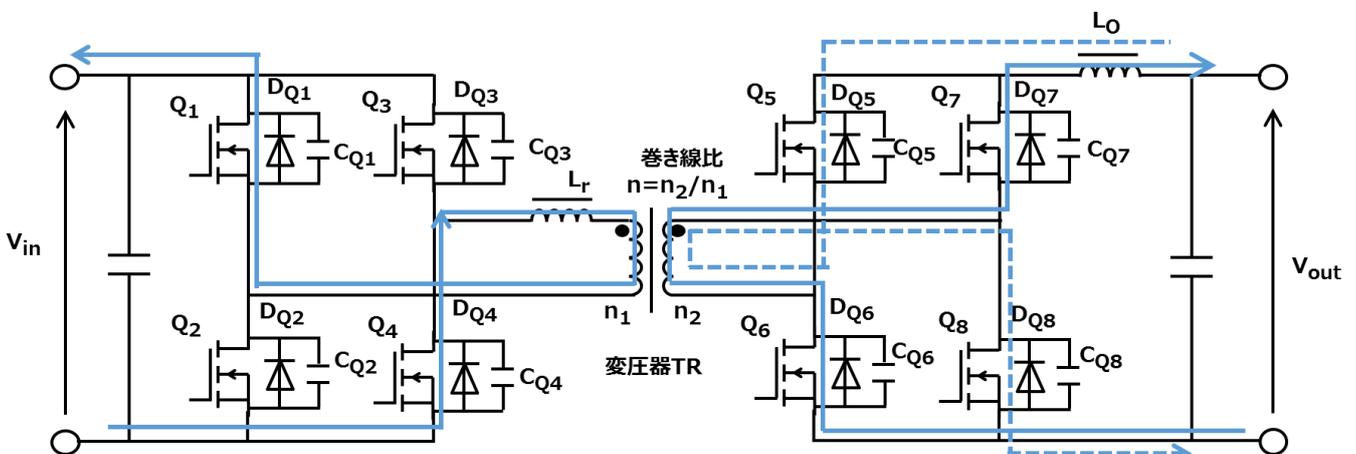


図3.15 期間h-3動作

3.2. 実際の動作信号波形

図3.16に一次側MOSFET Q₂、Q₄の動作波形、図3.17に二次側MOSFET Q₆、Q₈の動作波形、図3.18に各MOSFETのゲート信号タイミング波形を示します。

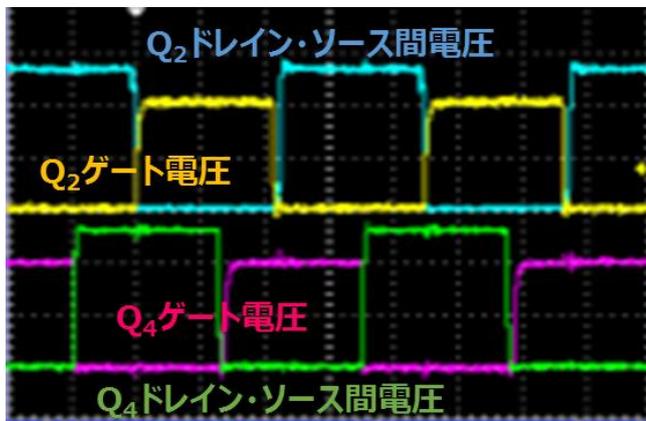


図3.16 Q₂、Q₄動作波形

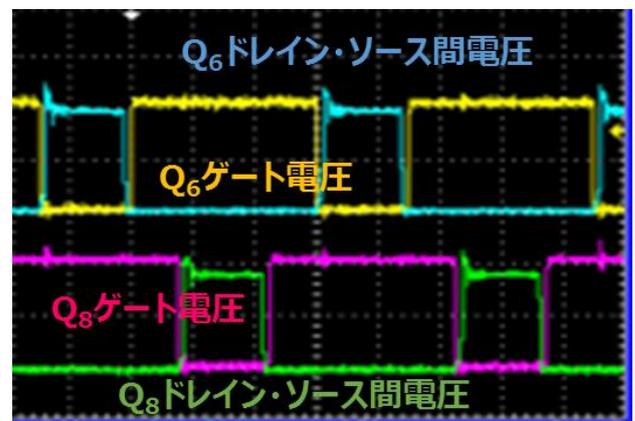


図3.17 Q₆、Q₈動作波形

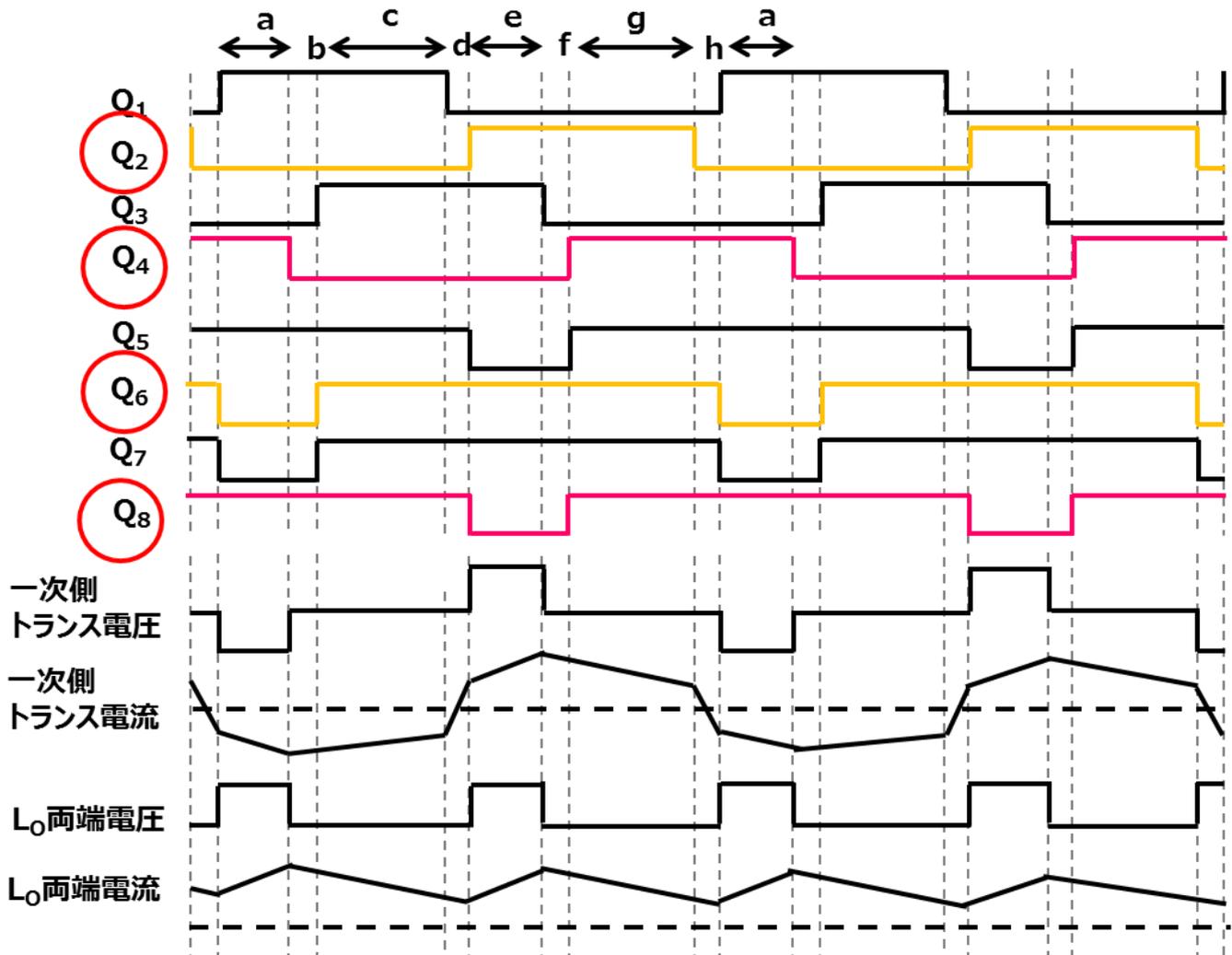


図3.18 各MOSFETの動作タイミング

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。