

DC/DC コンバータの励磁電流の測定方法とシミュレーション方法

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2011/11/23 舞鶴高専 平地克也

DC/DC コンバータでは高周波変圧器の励磁電流がその動作に重要な役割を果たします。したがって励磁電流を直接測定できれば DC/DC コンバータの動作の解明に大変役立つのですが、残念ながら励磁電流の正確な測定は簡単ではありません。逆にシミュレーションは大変簡単です。電気機器の教科書が教える通り、理想変圧器の 1 次巻線と並列に励磁インダクタンスを接続するだけで正確にシミュレーションすることができます。

DC/DC コンバータの励磁電流の特徴

図 1 に通常の変圧器の使用法を示します。2 次巻線 n_2 に負荷電流 i_2 が流れ、1 次巻線 n_1 には負荷電流 i_2' と励磁電流 i_m が流れます。励磁電流を測定する時は図 2 のように負荷をはずします。電圧 v_1 は図 1 と同じにします。こうすると負荷電流はなくなり、1 次巻線電流 i_1 は図 1 と同じ大きさの励磁電流 i_m のみとなり、 i_1 をオシロや電流計で測定すれば励磁電流 i_m を正確に測定できます。

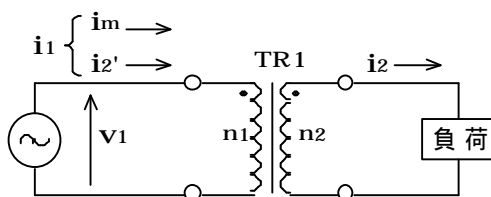


図 1 変圧器の負荷電流と励磁電流

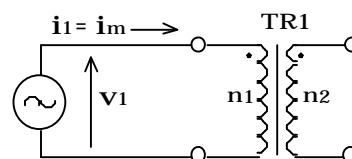


図 2 励磁電流の測定

このように通常の変圧器では無負荷運転することにより励磁電流を容易に測定することができますが、DC/DC コンバータでは変圧器の励磁電流の測定は簡単ではありません。図 3 に 1 石式フォワード型 DC/DC コンバータ (以下、1 石式 DD コンと略す) の電流経路を示します。Q₁ が ON している時は負荷電流も励磁電流も当然 n_1 巻線を流れますが、Q₁ が OFF している時は図 3 (a)(b) のように励磁電流は n_3 巻線や n_2 巻線を流れます。詳細は文献(1)(2)を参照下さい。変圧器の励磁電流は 1 次巻線を流れることが電気の世界の常識ですが、DC/DC コンバータではこの常識は通用しません(3)。したがって DC/DC コンバータでは特定の巻線電流を測定しても励磁電流を測定することはできません。

- (1) 平地克也、「フォワード型 DC/DC コンバータの負方向の励磁電流」、平地研究室技術メモ No.20061230、2006 年 12 月
- (2) 平地克也、「フォワード型 DC/DC コンバータの 2 次側を流れる励磁電流」、平地研究室技術メモ No.20070106、2007 年 1 月
- (3) 平地克也、「励磁電流の重要な性質」、平地研究室技術メモ No.20100817、2010 年 8 月

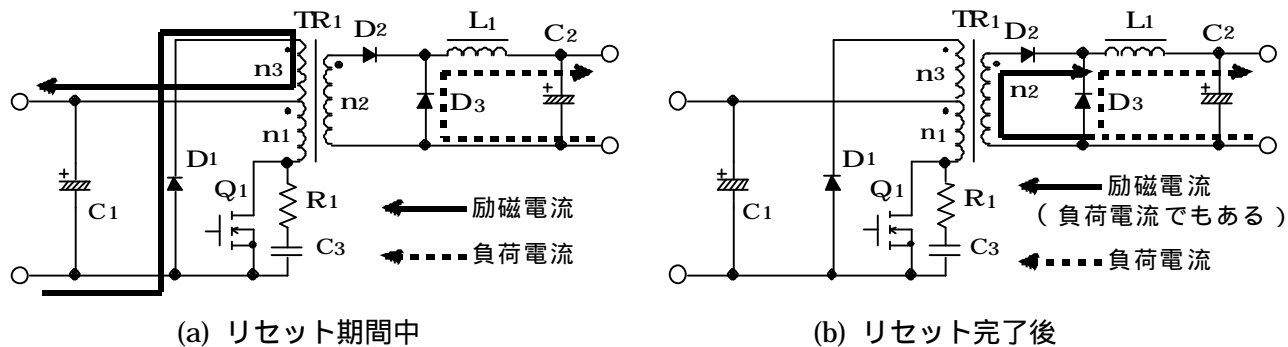


図3 1石式フォワード型DC/DCコンバータのQ1 OFF時の電流経路

DC/DCコンバータの励磁電流の測定方法

図4にDC/DCコンバータの励磁電流をなんとか測定する方法を示します(4)。変圧器の巻線の電流を全て電流プローブに通します。図4は1石式DDコンのように巻線が3つある場合を示しています。変圧器を流れる負荷電流は磁束を作らないのでその合計は必ず0Aになります。したがって図4のようにすると負荷電流は互いにキャンセルされ、励磁電流だけを測定することができます。測定時には電流の方向に注意下さい。鉄心に同一方向に磁束を作るように電流の方向を統一して測定しなければなりません。図5は測定例です(4)。ただし、この方法が使用できるのは巻線のターン数が全て等しい場合に限られます。また、励磁電流は負荷電流と比較して通常は非常に小さいので、負荷電流の小さな測定誤差が励磁電流の測定値に大きな影響を与えます。図5では励磁電流波形に不連続点が見られますが、これは負荷電流の測定誤差によるものと考えられます。さらに、図4の方法では巻線にかなり長い電線を接続して電流プローブに通す必要がありますが、特に動作周波数が高い場合は電線を長く引き回すことは困難です。

このように、DC/DCコンバータでは励磁電流を正確に実測することは簡単ではありません。

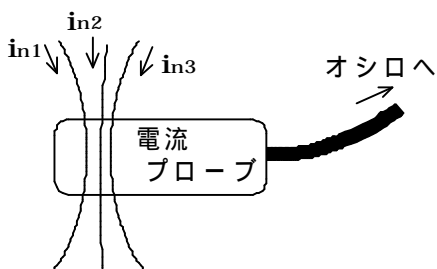


図4 励磁電流の検出方法

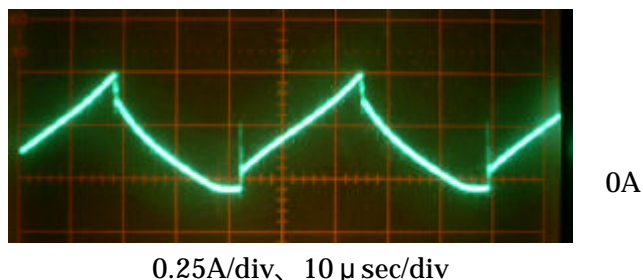


図5 1石式フォワード型DC/DCコンバータの励磁電流波形

(4) 平地克也、「動作中の変圧器のヒステリシスループ (BH 曲線) 測定方法」、平地研究室技術メモ No.20070912、2007年9月

DC/DCコンバータの励磁電流のシミュレーション方法

DC/DCコンバータの励磁電流には重要な特徴がいくつかありますが(3)、シミュレーションをする上で注意しなければならないのは次の2つでしょう。

励磁電流は回路条件が変わっても流れ続ける：励磁電流は磁束に比例するのでトランジスタの ON/OFF など回路条件が変わっても鉄心に磁束がある限り流れ続けます。

励磁電流は最も流れやすい巻線を通る：鉄心にとって励磁電流は磁束を作ってくれさえすれば良いのでどの巻線に流れても鉄心にとっては無関係の事です。よって、励磁電流は自動的に最も流れやすい巻線に流れます。

DC/DC コンバータではこのような励磁電流の性質を満足するようにシミュレーションを行う必要があります。これは一見かなり難しいことのような印象を持ちますが、実際には大変簡単であり、電気機器の教科書が教える通り図 6 のように理想変圧器 TR の 1 次コイルと並列に励磁インダクタンス L_m を接続するだけで OK です。

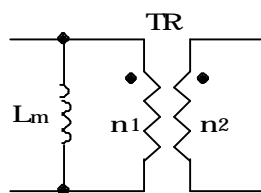
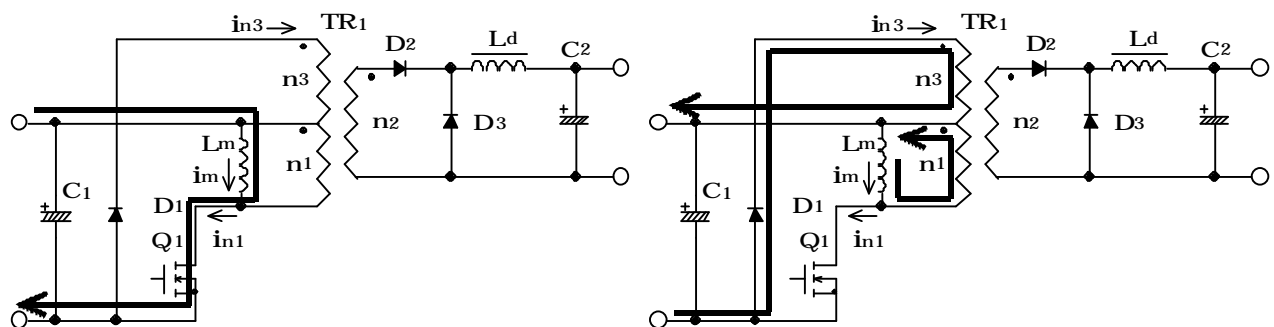


図 6 励磁電流のシミュレーション方法

図 6 に 1 石式 DD コンの励磁電流シミュレーションの様子を示します。Q1 が ON している時は励磁電流は L_m Q1 の径路で流れます。Q1 が OFF すると励磁電流は n_3 巻線に転流しますが、シミュレーションでは図 7 (b) に示すように L_m の電流が n_1 巻線流れ、その電流が理想変圧器の変流動作により n_3 巻線を通ります。 n_1 巻線にも励磁電流が流れている所が実際の回路とは異なりますが、 n_3 巻線への転流は実際の回路と全く同様に正確にシミュレーションできます。同様に n_2 巻線への転流も正確にシミュレーションできます。励磁電流は L_m の電流 i_m として容易に波形を表示することができます。なお、 n_1 巻線電流 i_{n1} は図 7 に示すように n_1 巻線自身ではなく、 L_m の左側の電流と考えればこれも正確に波形を表示できます。



(a) Q1 が ON している時

(b) Q1 が OFF した後

図 7 1 石式フォワード型 DC/DC コンバータの励磁電流のシミュレーション

図 8、図 9 に 1 石式 DD コンの励磁電流シミュレーションの例を示します。図 8 に示すように励磁インダクタンス L_m を理想変圧器 TR1 の 1 次巻線 n_1 と並列に接続しています。図 9 に示すように Q1 が ON している時は i_m は増加し、OFF してからリセット期間中は i_m は減少します。リセットが

完了すると i_m は負の値となりますが、この時は n_2 巻線に転流しています（図3 (b)参照）。この波形は実測データである図5とよく似た形になっています。なお、図5では測定誤差と思われる不連続点がありますが、図9では当然ながら不連続点はありません。

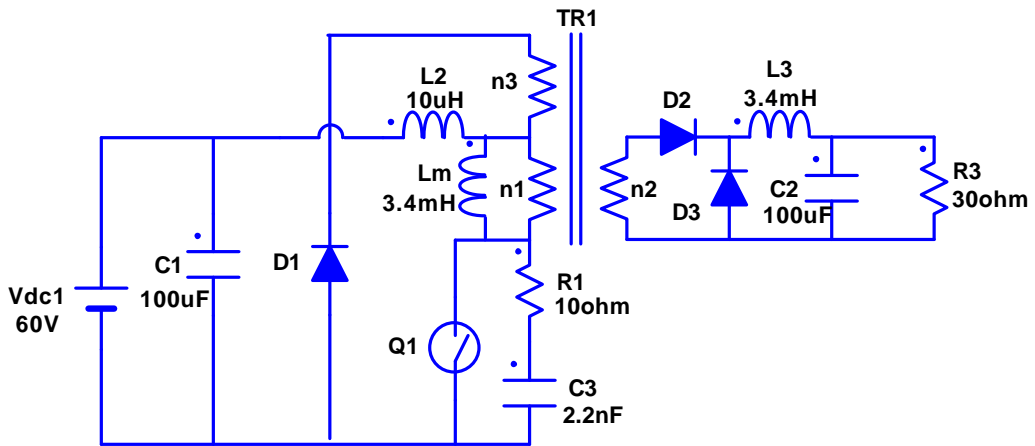
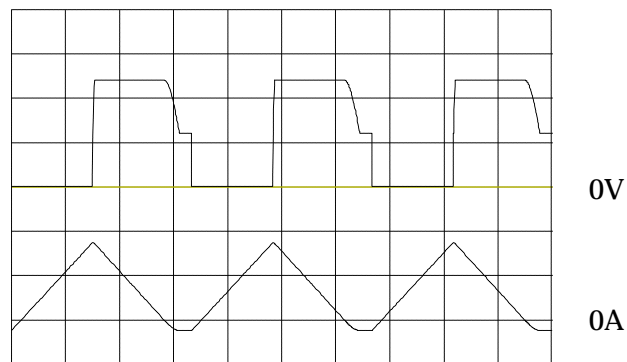


図8 1石フォワード型 DC/DC コンバータのシミュレーション回路（SCAT を使用）



上：Q1 電圧 50V/div 下：励磁電流（ L_m 電流）0.2A/div 時間：15 μ sec/div

図9 1石フォワード型 DC/DC コンバータのシミュレーション波形

以上