

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-207018

(P2009-207018A)

(43) 公開日 平成21年9月10日(2009.9.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03K 17/16 (2006.01)	H03K 17/16 M	5J055
H01F 7/18 (2006.01)	H01F 7/18 L	
H03K 17/695 (2006.01)	H03K 17/687 B	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2008-48940 (P2008-48940)  
 (22) 出願日 平成20年2月29日 (2008. 2. 29)

(71) 出願人 000006747  
 株式会社リコー  
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
 (72) 発明者 青木 昇  
 茨城県ひたちなか市武田1060番地 リ  
 コープリンティングシステムズ株式会社内  
 Fターム(参考) 5J055 AX26 BX16 CX07 CX13 DX03  
 DX10 EX06 EY15 EZ61 FX13  
 FX34 GX01 GX05

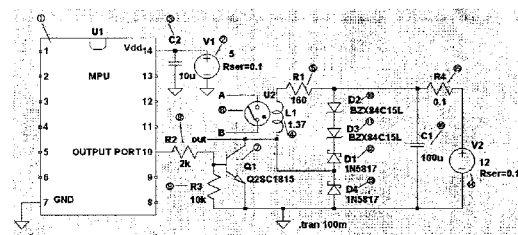
(54) 【発明の名称】 電磁石コイル駆動回路

(57) 【要約】

【課題】励磁OFFの高速化が図れ、また電磁波ノイズの輻射を効果的に減衰でき、しかもトランジスタ破壊を確実に防止することが可能な電磁石コイル駆動回路を提供する。

【解決手段】リレーまたはソレノイド等に使用するコイル、そのコイルに駆動電流を供給するトランジスタ、そのコイルに直列接続する複数個数のツェナーダイオード、同ツェナーダイオードに直列に接続する接合容量(Cj0)の大きな高速ショットキーバリアダイオード、コイルの片側に接続する直流電圧源、コイルの電源側に接続するバイパスコンデンサ、トランジスタのベース、エミッタ間に接続する抵抗、トランジスタのベースに接続してトランジスタのオン/オフを制御する電圧源、同電圧源とトランジスタのベースを接続するベース抵抗により構成する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

トランジスタで電磁石コイルを直流電流で駆動する電磁石コイル駆動回路において、前記電磁石コイルには電磁エネルギー  $E = (1/2) L \times i^2$  [ J ] (ここで  $L$  はコイルのインダクタンス [ H ]、 $i$  はコイル励磁 OFF 瞬間の直前にコイルに流れている電流 [ A ] ) を蓄積するところの電磁石コイルに、並列に高速ショットキーダイオード直列に接続することで、電磁石コイルの電流駆動 OFF 時に発生する過度電圧  $V_t = V_{cc} + n \times V_z + V_f$  [ V ] を、

$$V_t = V_{cc} + n \times V_z + V_f [ V ] < V_{ceo} [ V ]$$

の条件を満たしつつ、(ここで  $V_{cc}$  = 電源電圧 [ V ] ) トランジスタの絶対定格  $V_{ceo}$  [ V ] 以内で高くし、電流駆動 OFF からコイルに流れる過渡電流の時間を短縮して前記電磁エネルギー  $E$  を放出させ、電磁石コイルの励磁が消えるまでの時間を短縮し、かつ、前記電磁石コイルとツェナーダイオードと接合容量の大きなショットキーバリアダイオードを直列させた回路で閉回路を形成したことを特徴とする電磁石コイル駆動回路。

10

## 【請求項 2】

トランジスタで電磁石を駆動する電磁石コイル回路において、前記電磁石を OFF 時に発生するマイナスの過度電圧をコレクタ端子とグランド間に逆方向に接続したショットキーバリアダイオードにより吸収することを特徴とする電磁石コイル駆動回路。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、リレーやソレノイド等を利用する電子機器の電磁石コイル駆動回路に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

良く使われるコイル駆動回路として、図 3 に示すコイル駆動回路は、リレーの ON / OFF、ソレノイドの ON / OFF 制御に広く使用されている。この回路は、スイッチングダイオードなどのシリコンダイオードを、コイルに並列に接続し、コイル駆動 OFF 時に瞬時的にコイル両端に発生する電圧が高くなりならないようにして、駆動トランジスタの破壊を防止している。

30

## 【0003】

特許文献 1 に記載されている回路は、コイルの並列にツェナーダイオードと一般ダイオードを直列に接続した閉回路を構成し、ツェナーダイオードとスイッチングダイオードの直列回路の複数組みを構成し、それぞれの組みで降伏電圧の異なるツェナーダイオードを用意し、どれか一つのツェナーダイオードとスイッチングダイオードの直列回路をスイッチで選択することで、異なるコイルの励磁時間の調整を可能としている。

## 【0004】

特許文献 2 に記載されている回路は、スイッチングトランジスタを用いたリアクトル駆動回路でのターンオフ速度を緩和しようとするものである。

40

## 【0005】

【特許文献 1】特開昭 63 - 102134 号公報

【特許文献 2】特開平 04 - 115715 号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

以下、前述の従来技術の課題とされている点を述べる。

## 【0007】

(1) 良く使われるコイル駆動回路

従来から良く利用されているコイル駆動回路は、コイルの電流オフ時に瞬時的に発生す

50

る過渡的な高電圧から、駆動トランジスタの破壊を防止するフリーホイールダイオードとも呼ばれるスイッチングダイオードをコイルに並列に接続している。コイルのドライブ停止瞬間の直前にコイルに流れていた電流  $i$  [A] とすると、コイルに蓄えられた電磁エネルギー  $E$  は、 $E = (1/2) \times L \times i^2$  [J] で表される。

【0008】

この電磁エネルギー  $E$  は、フリーホイールダイオードが無い場合は、コイルの電流駆動停止瞬間に高電圧となってコイル両端に現れるため、駆動トランジスタの絶対定格  $V_{ce0}$  [V] を遥かに越えた高電圧が発生させ、同トランジスタ素子を破壊してしまう課題がある。

【0009】

この電磁エネルギー  $E$  の解放による高電圧を防止する方法として、コイルと並列にスイッチングダイオードを接続して閉回路を形成すると、コイル電流は、コイルとスイッチングダイオードで形成される閉回路に電流をループさせることで、電磁エネルギー  $E$  を消費させることができる。

【0010】

この電磁エネルギー  $E$  は、コイル周辺の磁場の発生と、コイル内部抵抗成分による熱の発生、電磁波の発生により放出されると考えられる。

【0011】

コイル電流 OFF 時に瞬間的に上昇する過渡電圧  $V_t$  [V] は、電源電圧  $V_{cc}$  [V] に対し、ダイオードの順方向電圧降下  $V_f$  [V] とすると、トランジスタとコイルの接続点電圧を、 $V_t = \text{約 } V_{cc} + V_f$  [V] に抑えることができる。

【0012】

例えば、 $V_{cc} = 12$  [V] ,  $V_f = 0.6$  [V] ならば、 $V_t = \text{約 } 12.6$  [V] である。

【0013】

ただし、上昇電圧が約  $V_{cc} + V_f$  [V] に保たれる時間の間、コイルとダイオード間で電流がループして流れるため、コイル励磁が消去されるのが遅れ、その結果、リレーの場合は接点動作の遅延し、ソレノイドの場合は可動鉄心部の動作が遅れる問題がある。

【0014】

(2) 特許文献 1 では、(1) の方式に比べて、ツェナーダイオード 1 本分の電圧を  $V_z$  とおくと、 $V_t = V_z + V_f$  [V] まで上昇する。その結果、電磁エネルギーは初期電流  $i(0)$  とおいて、初期の電磁エネルギー  $E = (1/2) \times L \times i(0)^2$  が、過渡電圧  $V_t(t)$  が出現中の時間区間に消費される電力  $P(t) = V_t(t) \times i(t)$  と考えると(ここで  $t$  は時刻 [s] とする)、以下のような近似式が成立すると考えられる。

【0015】

$$E = (1/2) L \times i(0)^2 - \int V_t(t) \times i(t) dt$$

このため、 $V_t$  がツェナーダイオードの降伏電圧で  $V_z$  [V] だけ高くなる分、 $V_t$  の継続時間は短くなる。その結果、(2) は、(1) よりも高速にコイルの励磁状態を切ることができる。

【0016】

(3) 特許文献 2 の方式は、ターンオフ速度を緩和する方式で、本発明の目指す目的とは方向性が逆にある。これは特許文献 2 の課題とされている点というより、目指す目的が反対方向であるため、利用目的が異なるものである。

【0017】

本発明の目的は、励磁 OFF の高速化が図れ、また電磁波ノイズの輻射を効果的に減衰でき、しかもトランジスタ破壊を確実に防止することが可能な電磁石コイル駆動回路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

前記目的を達成するため本発明の第 1 の手段は、トランジスタで電磁石コイルを直流電

10

20

30

40

50

流で駆動する電磁石コイル駆動回路において、

前記電磁石コイルには電磁エネルギー  $E = (1/2) L \times i^2$  [ J ] (ここで  $L$  はコイルのインダクタンス [ H ]、 $i$  はコイル励磁 OFF 瞬間の直前にコイルに流れている電流 [ A ]) を蓄積するところの電磁石コイルに、並列に高速ショットキーダイオード (順方向電圧  $V_f$  [ V ]) と、降伏電圧  $V_z$  [ V ] のツェナーダイオードを複数 (  $n$  個、 $n \geq 2$  ) 直列に接続することで、電磁石コイルの電流駆動 OFF 時に発生する過度電圧  $V_t = V_{cc} + n \times V_z + V_f$  [ V ] を、

$$V_t = V_{cc} + n \times V_z + V_f [ V ] < V_{ceo} [ V ]$$

の条件を満たしつつ、(ここで  $V_{cc}$  = 電源電圧 [ V ]) トランジスタの絶対定格  $V_{ceo}$  [ V ] 以内でできるだけ高くし、電流駆動 OFF からコイルに流れる過渡電流の時間を短縮して前述の電磁エネルギー  $E$  を放出させ、電磁石コイルの励磁が消えるまでの時間を可能限り短縮し、かつ、前記電磁石コイルとツェナーダイオードと接合容量の大きなショットキーバリアダイオードを直列させた回路で閉回路を形成し、コイルから輻射される不要輻射電波の低減効果を持たせたことを特徴とするものである。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 2 の手段は、トランジスタで電磁石を駆動する電磁石コイル駆動回路において、電磁石を OFF 時に発生するマイナスの過度電圧をコレクタ端子とグランド間に逆方向に接続したショットキーバリアダイオードにより吸収し、電磁石 OFF 後に発生する不要輻射電波の低減効果を持たせたことを特徴とするものである。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 0 】

本発明は前述のような構成になっており、励磁 OFF の高速化が図れ、また電磁波ノイズの輻射を効果的に減衰でき、しかもトランジスタ破壊を確実に防止することが可能な電磁石コイル駆動回路を提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 1 】

本発明の電磁石コイル駆動回路は、リレーまたはソレノイド等に使用するコイル、そのコイルに駆動電流を供給するトランジスタ、そのコイルに直列接続する複数個数のツェナーダイオード、同ツェナーダイオードに直列に接続する接合容量 (  $C_{jo}$  ) の大きな高速ショットキーバリアダイオード、コイルの片側に接続する直流電圧源、コイルの電源側に接続するバイパスコンデンサ、トランジスタのベース、エミッタ間に接続する抵抗、トランジスタのベースに接続してトランジスタの ON / OFF を制御する電圧源 ( 例えば MPU のポート端子 ) と同電圧源とトランジスタのベースを接続するベース抵抗により構成する。

【 0 0 2 2 】

本発明の動作原理は、コイルが励磁時に蓄積する電磁エネルギー  $E = (1/2) L \times i^2$  [ J ] が、駆動電流 OFF の瞬間に放出されることが、その過渡現象として高い電圧を発生させる原因となっており、過渡現象時の過渡電流  $i(t)$  の現れる時間は、過渡電圧と過渡電流の積による電力消費の時間積分値  $\int V_t(t) \times i(t) dt$  [ J ] が、ほぼ電磁エネルギー  $E = (1/2) L \times i^2$  [ J ] の値と一致することから、その過渡電圧  $V_t(t)$  をできるだけ高い電圧に維持すればコイルを流れる過渡電流の現れる時間は短縮され、コイルの励磁を高速に切れるという電氣的物理原理に基づいている。

【 0 0 2 3 】

以下、本発明の一実施例について詳細に説明する。最初に図 1 により、本発明の実施例に係る電磁石コイル駆動回路の全体構成を説明する。

【 0 0 2 4 】

DC 電源 1 2 V ( 図面では丸付き番号で表記している ) は、リレー駆動回路を動作させ、DC 電源 5 V ( 2 ) は MPU ( 1 ) を動作させるもので、ここでは、リレー ( 4 、 5 、 6 ) のコイル ( 4 ) に大電流が流れることも想定し、その大電流により MPU ( 1 ) に供給される電源電圧が低下しないように、電源 ( 2 , 1 4 ) を独立にしている。( なおコイ

10

20

30

40

50

ル電流が小さく、その電流による電源電圧降下が、MPU電源電圧の動作保証範囲内に確実に収められる場合は、これらの電源装置を共通化し、12V電源(14)から、電源用レギュレータIC等を用いて5V電源(2)を供給しても良い。) )

出力ポート(MPUの10番ピン)はMPU(1)の出力端子で、トランジスタ(7)をONする場合は、High電圧(約5V)を出力して、トランジスタ(7)をOFFする場合は、Low電圧(約0V)を出力する。ベース抵抗(8)は、出力ポートの出力電圧からベースに流れる電流を制限する抵抗で、ベースエミッタ間抵抗(9)は、出力ポート出力電圧がLow時に、トランジスタ(7)がON状態にならないように、トランジスタ(7)のベース~エミッタ間電圧を0Vに保つものである。

#### 【0025】

コイル内部抵抗(5)は、コイル(巻き線)の抵抗成分で、図1上では、コイルはインダクタンス成分(4)と内部抵抗成分(5)で構成されていると仮定している。

#### 【0026】

ツェナーダイオード(10, 11)は、これらを直列にして降伏電圧 $V_z = 15 [V]$ を足し合わせた、降伏電圧 $30 [V]$ ( $= 15 + 15 [V]$ )のツェナーダイオードとして動作する。ショットキーバリアダイオード(12)は、直列されたツェナーダイオード(10, 11)とショットキーバリアダイオード(12)の降伏電圧 $n \times V_z + V_f [V]$ (ここでは $n = 2$ )に達したときに順方向に電流を流し、コイル(4, 5)とこれらのダイオード(10, 11, 12)間でループした電流を生じさせる。

#### 【0027】

以降、具体的な電気回路の各種について、電子回路シミュレータ(spic)を用いて、それぞれの動作検証結果を説明する。

#### 【0028】

以下のシミュレーションでは、市販されているミニパワーリレーの仕様に合わせた、インダクタンス $L = 1.37 [H]$ 、巻き線の抵抗成分 $= 160 [ \quad ]$ をコイル使用を仮定した。

#### 【0029】

リレーの場合は、鉄片動作時にインダクタンスが大きく(ここでは $L = 1.37 [H]$ )、鉄片開放時にインダクタンスが小さくなる(ここでは $0.37 [H]$ )物理的性質があり、ここでは、リレーOFF瞬間の過渡現象を解析するため、鉄片動作時のインダクタンス $= 1.37 [H]$ を仮定した。

#### 【0030】

図2は、コイルにダイオードを全くつけない場合に、トランジスタ(2SC1815,  $V_{ce0} = 50 [V]$ (最小)耐圧)をOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示したものである。

#### 【0031】

コイルONの状態では、コイル末端のトランジスタのコレクタ側電圧 $V_{ce}$ は約 $0 [V]$ であるが、コイルOFFの瞬間、極めて短い時間(約 $20 [\mu S]$ )区間で、数 $[kV]$ (最大で約 $11 [kV]$ )まで上昇し、コイル電流は約 $72 [mA]$ から、急激に $-3 [mA]$ にまで落ち込み、以降 $0 [mA]$ の完全な励磁OFF状態になる。

#### 【0032】

このような高電圧がトランジスタのコレクタ~エミッタ間に加わると絶対定格 $V_{ce0} = 50 [V]$ を超過して、トランジスタ(2SC1815)は素子破壊を起こしてしまい、回路故障に至る。

#### 【0033】

ここでコイルON時に蓄積される電磁エネルギーは、  

$$E = (1/2) \times L \times i^2 = (1/2) \times 1.37 \times (70E-3)^2 = 3.36 [mJ]$$
 で、この電磁エネルギーが $20 [\mu S]$ とい極めて短い時間で開放されるため、このような高電圧が発生する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

図 3 は、コイルにスイッチングダイオード ( 1 N 9 1 4 ) を並列接続した場合に、トランジスタ ( 2 S C 1 8 1 5 ,  $V_{ce0} = 50 [V]$  ) ( 最小 ) 耐圧) を OFF した瞬間の時刻近傍の  $V_{ce}$  電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示したものである。

## 【 0 0 3 5 】

コイル ON の状態では、コイル末端のトランジスタのコレクタ側電圧は約  $0 [V]$  であるが、コイル OFF の瞬間、図 2 の回路より相対的に非常に長い時間 ( 約  $25.18 [mS]$  ) 区間で、 $12.5 [V] \sim 12.8 [V]$  程度のほぼ一定電圧を保ち、この時間区間でコイル電流は約  $72 [mA]$  から  $0 [mA]$  にまで左下がりてなだらかに落ち込み、以降  $0 [mA]$  の完全な励磁 OFF 状態になる。

10

## 【 0 0 3 6 】

このように、コイル電流はゆっくりと完全な励磁 OFF に至るため、コイルが鉄片を吸着している時間は長引く。その結果、リレースイッチ接点動作が、トランジスタ OFF 駆動から相当分遅れてしまう課題がある。

## 【 0 0 3 7 】

なお、ここで過渡電圧が約  $12.5 V \sim 12.8$  程度にほぼ一定電圧になっているのは、スイッチングダイオードの順方向電圧降下  $V_f = 0.6 V$  のため、過渡電圧  $V_t = V_{cc} + V_f [V]$  が保たれているからである。そこで、次のようにしていく。

## 【 0 0 3 8 】

図 4 は、コイルにスイッチングダイオード ( 1 N 9 1 4 ) とツェナーダイオード ( B Z X 8 4 C 1 5 L ) を並列接続した場合に、トランジスタ ( 2 S C 1 8 1 5 ,  $V_{ce0} = 50 [V]$  ) ( 最小 ) 耐圧) を OFF した瞬間の時刻近傍の  $V_{ce}$  電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示したものである。

20

## 【 0 0 3 9 】

コイル ON の状態では、コイル末端のトランジスタのコレクタ側電圧は約  $0 [V]$  であるが、コイル OFF の瞬間、図 3 の回路より相対的に短い時間 ( 約  $4.598 [mS]$  、図 3 の約  $5.5$  倍高速 ) 区間で、約  $27.7 [V] \sim 28.5 [V]$  程度のほぼ一定電圧を保ち、この時間区間でコイル電流は約  $72 [mA]$  から  $0 [mA]$  にまで左下がりて直線的に落ち込み、以降  $0 [mA]$  の完全な励磁 OFF 状態になる。

## 【 0 0 4 0 】

このように、コイル電流は、図 3 の約  $5.5$  倍もの速さで完全な励磁 OFF に至るため、コイルが鉄片を吸着している時間は短縮される。その結果、リレースイッチ接点動作が、トランジスタ OFF 駆動の遅れが大きく改善されている。

30

## 【 0 0 4 1 】

なお、ここで過渡電圧が約  $27.7 [V] \sim 28.5 [V]$  程度にほぼ一定電圧になっているのは、スイッチングダイオードの順方向電圧降下  $V_f = 0.6 V$  と、ツェナーダイオードの降伏電圧  $V_z = 15 [V]$  により、過渡電圧  $V_t = V_{cc} + V_z + V_f [V]$  が保たれているからである。

## 【 0 0 4 2 】

一方、図 4 のコイル励磁 OFF の後、最大振幅幅約  $24 [V]$  と大きな電圧振動が約  $1.12 [mS]$  間見える。すなわち、スイッチの OFF の度に電磁波が発生し、回路上でノイズ源となっている。この電圧振動区間の波形を拡大したのが図 5 で、図 5 の FFT を行ったものが図 6 である。図 6 のスペクトラムが示すように、相当の電磁波の発生が認められる。

40

## 【 0 0 4 3 】

この電圧振動、すなわちノイズが発生する原因は、元々の電磁エネルギーの残分が、コイル、ツェナーダイオード、スイッチングダイオードの閉回路において、ダイオードには PN 接合間容量が存在するために、LC 共振回路を構成することと、特にツェナーダイオードは降伏電圧を発生させる条件で、広域の周波数帯ノイズを出す性質があり、これらがノイズ発生の原因と考えられる。

50

## 【 0 0 4 4 】

図 7 は、コイルにスイッチングダイオード ( 1 N 9 1 4 ) とツェナーダイオード ( B Z X 8 4 C 1 5 L ) 2 個の直列回路を、コイルに並列接続した場合に、トランジスタ ( 2 S C 1 8 1 5 ,  $V_{ce0} = 50 [V]$  ( 最小 ) 耐圧 ) を OFF した瞬間の時刻近傍の  $V_{ce}$  電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示したものである。

## 【 0 0 4 5 】

コイル ON の状態では、コイル末端のトランジスタのコレクタ側電圧は約  $0 [V]$  であるが、コイル OFF の瞬間、図 4 より相対的に短い時間 ( 約  $2.642 [ms]$  、図 4 の約 1.7 倍高速 ) 区間で、約  $42.5 [V] \sim 44.2 [V]$  程度のほぼ一定電圧を保ち、この時間区間でコイル電流は約  $72 [mA]$  から  $0 [mA]$  にまで左下がり直線的に落ち込み、以降  $0 [mA]$  の完全な励磁 OFF 状態になる。

10

## 【 0 0 4 6 】

このように図 7 の回路のコイル電流は、図 4 の回路の約 1.75 倍、図 3 の回路の約 9.5 倍もの速さで完全な励磁 OFF に至るため、コイルが鉄片を吸着している時間は短縮される。その結果、リレースイッチ接点動作が、トランジスタ OFF 駆動の遅れが大きく改善されている。

## 【 0 0 4 7 】

なお、ここで過渡電圧が約  $42.5 [V] \sim 44.2 [V]$  程度にほぼ一定電圧になっているのは、スイッチングダイオードの順方向電圧降下  $V_f = 0.6 V$  と、ツェナーダイオードの降伏電圧  $V_z = 15 [V]$  2 本分 =  $30 [V]$  により、  
過渡電圧  $V_t = V_{cc} + 2 \times V_z + V_f [V] = 12 + 2 \times 15 + 0.6 = 42.6 [V]$   
が保たれているからである。

20

## 【 0 0 4 8 】

一方、図 7 では、コイル励磁 OFF の後、最大振幅幅約  $24 [V]$  と大きな電圧振動が約  $1.12 [ms]$  見える。すなわち、スイッチの OFF の度に、電磁波が発生し、回路上でノイズ源となっている。この電圧振動区間の波形を拡大したのが図 8 で、図 8 の FFT を行ったものが図 9 である。このように相当な強度の電磁波ノイズが認められる。このノイズ輻射のメカニズムは、前述の図 4 の説明で記述したものと同一である。

## 【 0 0 4 9 】

30

図 10 は、ショットキーバリアダイオード ( 1 N 5 8 1 7 ) とツェナーダイオード ( B Z X 8 4 C 1 5 L ) 2 個の直列回路を、コイルに並列接続した場合に、トランジスタ ( 2 S C 1 8 1 5 ,  $V_{ce0} = 50 [V]$  ( 最小 ) 耐圧 ) を OFF した瞬間の時刻近傍の  $V_{ce}$  電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示したものである。

## 【 0 0 5 0 】

コイル ON の状態では、コイル末端のトランジスタのコレクタ側電圧は約  $0 [V]$  であるが、コイル OFF の瞬間、図 4 よりも相対的に短い時間 ( 約  $2.688 [ms]$  、図 7 の約 1.0 倍と同等に高速 ) 区間で、約  $41.45 [V] \sim 43.6 [V]$  程度のほぼ一定電圧を保ち、この時間区間でコイル電流は約  $72 [mA]$  から  $0 [mA]$  にまで左下がり直線的に落ち込み、以降  $0 [mA]$  の完全な励磁 OFF 状態になる。

40

## 【 0 0 5 1 】

このようにコイル電流は図 7 の約 1.0 倍と同等に速く、完全な励磁 OFF に至るため、コイルが鉄片を吸着している時間は同様に短縮される。この結果では、リレースイッチ接点動作は、トランジスタ OFF 駆動の遅れは図 7 と殆ど同等になる。

## 【 0 0 5 2 】

なお、ここで過渡電圧が約  $41.45 [V] \sim 43.6 [V]$  程度にほぼ一定電圧で、前者より低めになっているのは、スイッチングダイオードの順方向電圧降下  $V_f = 0.6 V$  に対し、ショットキーバリアダイオード ( S B D ) は  $V_f = 0.2 [V]$  と低いため、ツェナーダイオードの降伏電圧  $V_z = 15 [V]$  2 本分により、  
過渡電圧  $V_t = V_{cc} + 2 \times V_z + V_f [V] = 12 + 2 \times 15 + 0.2 = 42.2 [V]$

50

]  
が保たれているからである。

【0053】

一方、図3、図4、図7のコイル励磁OFFの後、最大振幅幅約24[V]と大きな電圧振動が約1.1[mS]見えていたものが、図10ではかなりきれいに消え、約0.05[mS]に収まっている。

【0054】

図3～図10を比較すると、図10でスイッチのOFFの度に電磁波ノイズの発生は大きく減衰している。この電圧振動区間のFFTを行ったものが図12で、このスペクトラムの示すようにノイズ輻射は激減している。

【0055】

図6、図9、図12を比較してみると、 $C_{jo} = 190$  [pF]と、接合容量の大きなショットキーバリアダイオードによるノイズ低減の効果がノイズの周波数分布にはっきり現れている。

【0056】

この電磁波ノイズが大きく減衰した理由は、スイッチングダイオード1N914の $C_{jo} = 4$  [PF]に対し、ショットキーバリアダイオード1N5817は、 $C_{jo} = 190$  [PF]と大きいことが、ノイズを効果的に吸収したものと考えられる。

【0057】

なお、図1では、ショットキーバリアダイオード(SBD, 13)がトランジスタ(7)のコレクタとグランド間に電流の順方向に対し、逆に取り付けてある。

【0058】

このSBDは、 $V_{ce}$ がグランド電位(0[V])より低い電圧が、前記で述べてきた過渡現象中に発生した場合、その過渡現象の電圧振動のマイナス電位部に現れるエネルギーを吸収する効果がある。

【0059】

ただし前記のシミュレーション・パラメータ条件の場合は効果が見られなかった。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本発明の実施例に係る電磁石コイル駆動回路の全体構成を説明するための回路図である。

【図2】コイルにダイオードを接続しないで、トランジスタをOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示した図である。

【図3】コイルにスイッチングダイオードを並列接続して、トランジスタをOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示した図である。

【図4】コイルにスイッチングダイオードとツェナーダイオードを並列接続して、トランジスタをOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示した図である。

【図5】その過渡時における電圧振動区間の波形を拡大して示した図である。

【図6】その過渡時におけるノイズFFT解析図である。

【図7】コイルにスイッチングダイオードとツェナーダイオード2個の直列回路を、コイルに並列接続して、トランジスタをOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示した図である。

【図8】その過渡時における電圧振動区間の波形を拡大して示した図である。

【図9】その過渡時におけるノイズFFT解析図である。

【図10】ショットキーバリアダイオードとツェナーダイオード2個の直列回路を、コイルに並列接続して、トランジスタをOFFした瞬間の時刻近傍の $V_{ce}$ 電圧とコイル電流の過渡現象を、回路図を含めて示した図である。

【図11】その過渡時における電圧振動区間の波形を拡大して示した図である。

【図12】その過渡時におけるノイズFFT解析図である。

10

20

30

40

50

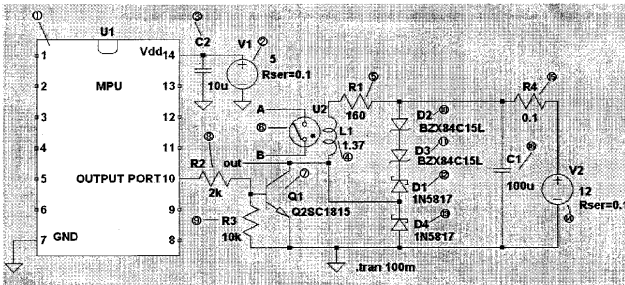
【符号の説明】

【0061】

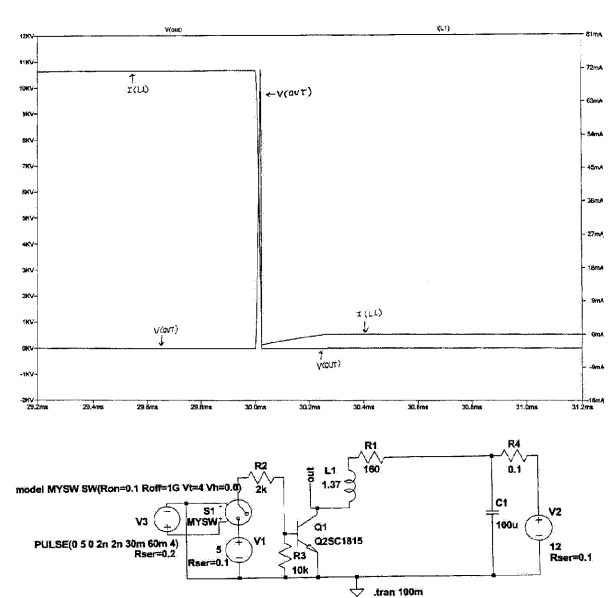
1 ... MPU、2 ... 5 [ V ] DC 電源の内部抵抗  $R_{ser} = 0.1 [ \Omega ]$ 、3 ... バイパスコンデンサ  $10 [ \mu F ]$ 、4 ... リレーのコイル部のインダクタンス成分  $1.37 [ H ]$ 、5 ... リレーのコイル部の ( 巻き線 ) 抵抗成分  $160 [ \Omega ]$ 、6 ... リレーの可動接点部、7 ... コイル駆動用トランジスタ ( 2SC1815 )、8 ... MPU 出力ポート端子 ~ トランジスタ・ベース間電流制限抵抗  $2 [ k \Omega ]$ 、9 ... トランジスタへの外部接続ベース ~ エミッタ間抵抗  $10 [ k \Omega ]$ 、10 ... ツェナーダイオード ( BZX84C15L , 降伏電圧 =  $15 [ V ]$  )、11 ... ツェナーダイオード ( BZX84C15L , 降伏電圧 =  $15 [ V ]$  )、12 ... ショットキーバリアダイオード ( 1N5817 ,  $C_{jo} = 190 [ pF ]$  )、13 ... ショットキーバリアダイオード ( 1N5817 ,  $C_{jo} = 190 [ pF ]$  )、14 ...  $12 [ V ]$  DC 電源の内部抵抗  $R_{ser} = 0.1 [ \Omega ]$ 、15 ... 配線抵抗  $0.1 [ \Omega ]$ 、16 ... バイパスコンデンサ  $100 [ \mu F ]$

10

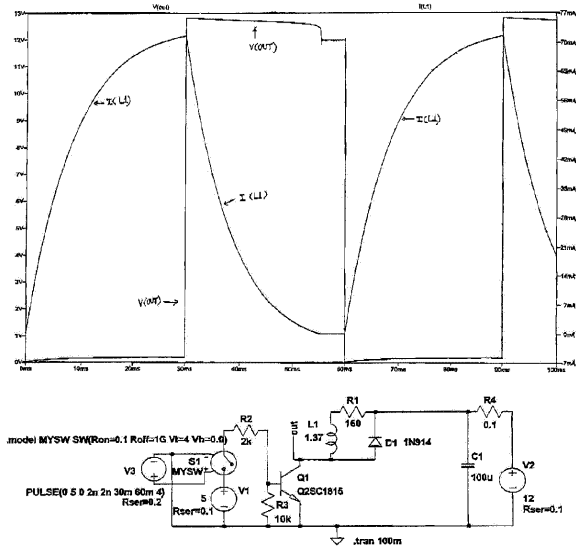
【図1】



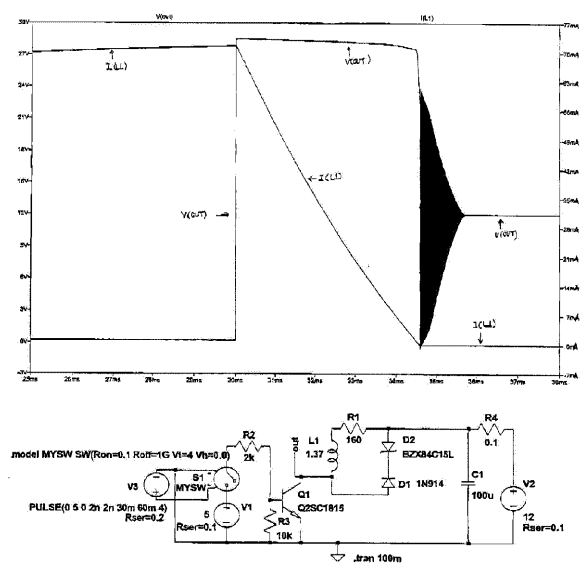
【図2】



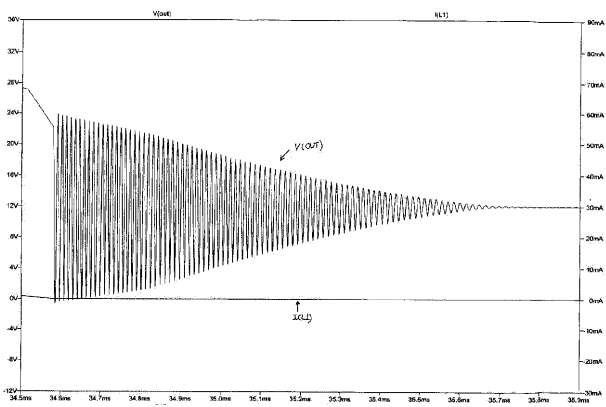
【 図 3 】



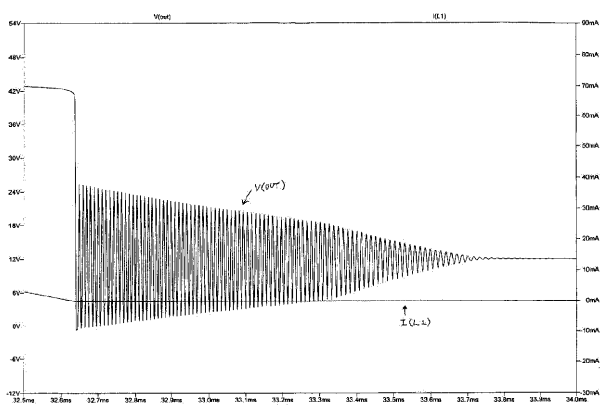
【 図 4 】



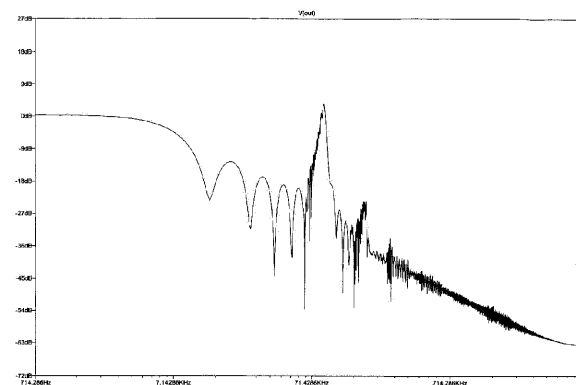
【 図 5 】



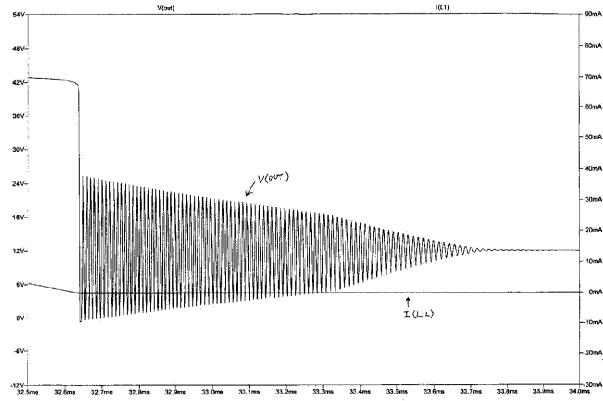
【 図 7 】



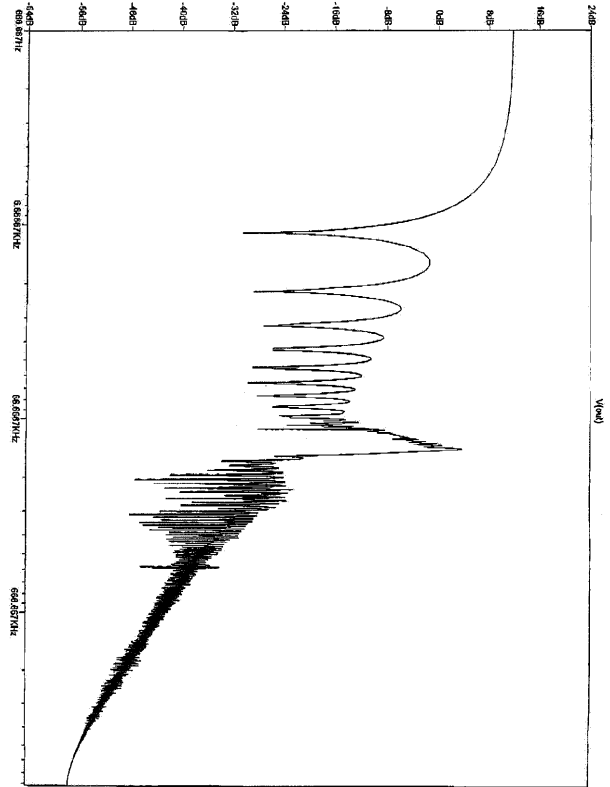
【 図 6 】



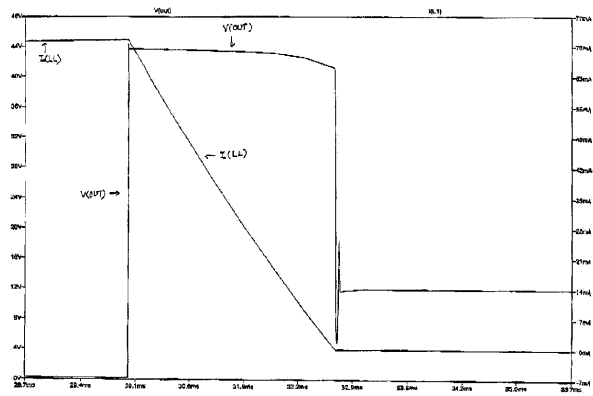
【 図 8 】



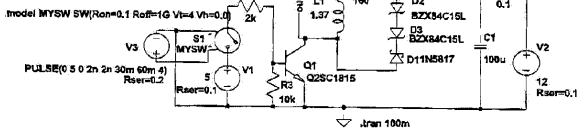
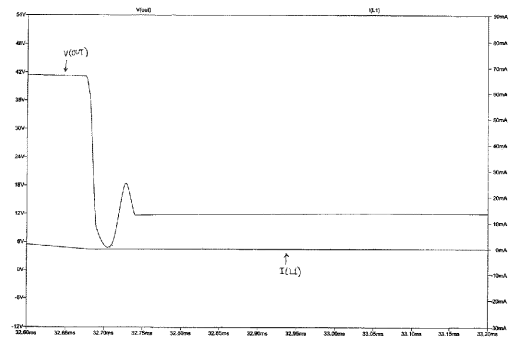
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】

