

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年7月12日(12.07.2018)



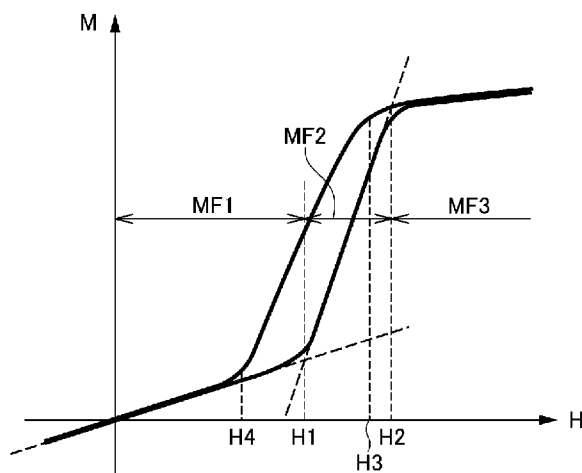
(10) 国際公開番号

WO 2018/128151 A1

- (51) 国際特許分類:
H02H 9/02 (2006.01) *H01F 37/00* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/046984
- (22) 国際出願日: 2017年12月27日(27.12.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-000363 2017年1月5日(05.01.2017) JP
- (71) 出願人: T D K株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目
9番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 松浦 研(MATSUURA Ken); 〒1080023
東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株式
会社内 Tokyo (JP). 佐藤 卓(SATO H Suguru);
〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9番1号
T D K株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 鷲頭 光宏, 外(WASHIZU Mitsuhiro et
al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目5番
1号第三太陽ビル7F Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,

(54) Title: RESONANCE-TYPE CURRENT LIMITING CIRCUIT

(54) 発明の名称: 共振型限流回路



(57) Abstract: [Problem] To provide a current limiting circuit with reduced impedance during normal operation. [Solution] This resonance-type current limiting circuit is provided with a core 11, a coil 12 wound around the core 11, and a capacitor 50 connected in series with the coil 12. The magnetic characteristics of this core 11 are such that, in a first quadrant of a graph with the magnetic field as the first axis and magnetic flux density or magnetization as the second axis, in a first magnetic field region MF1 with an intensity less than or equal to a first magnetic field intensity H1, the differential value of the magnetic flux density or magnetization with respect to the magnetic field is a first value, and in a second magnetic field region MF2 with an intensity greater than the first magnetic field intensity H1, the differential value of the magnetic flux density or magnetization with respect to the magnetic field is a second value greater than the first value. If the magnetic field applied to the core 11 is in the first magnetic field region MF1, the coil 12 and the capacitor 50 resonate in the frequency band of an AC power supply 20. Because the coil 12 and the capacitor 50 resonate, impedance decreases.

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：【課題】通常動作時におけるインピーダンスが低減された限流回路を提供する。【解決手段】磁心 1 1 と、磁心 1 1 に巻回されたコイル 1 2 と、コイル 1 2 に直列に接続されたコンデンサ 5 0 とを備える。磁心 1 1 の磁気特性は、第 1 軸を磁場とし第 2 軸を磁束密度又は磁化としたグラフの第 1 象限において、第 1 の磁場強度 H 1 以下の第 1 の磁場領域 M F 1 では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が第 1 の値であり、前記第 1 の磁場強度 H 1 よりも強い第 2 の磁場領域 M F 2 では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が第 1 の値よりも大きい第 2 の値である。コイル 1 2 とコンデンサ 5 0 は、磁心 1 1 に印加される磁場が第 1 の磁場領域 M F 1 である場合に、交流電源 2 0 の周波数帯で共振する。本発明によれば、電流 I が所定値以下である場合にコイル 1 2 とコンデンサ 5 0 が共振することから、インピーダンスが小さくなる。

明 細 書

発明の名称： 共振型限流回路

技術分野

[0001] 本発明は共振型限流回路に関し、特に、リアクタンス型の限流器を含む共振型限流回路に関する。

背景技術

[0002] 電力系統や電気回路において短絡事故が発生すると、短絡箇所において瞬時に大電流が流れ、この電流によって系統機器や回路素子が損傷したり、場合によっては火災が発生したりすることもある。短絡事故発生時におけるこのような大電流を抑制するための機器として、従来から限流器が知られている。限流器は、近年における電力容量の増加や分散型電源の普及に伴って、今後ますます需要が高まるものと予想される。

[0003] 限流器の具体的な構成は、例えば特許文献1～4に記載されている。特許文献1及び2に記載された限流器は、サイリスタとダイオードとからなるブリッジ回路にリアクトルを接続した構成を有している。また、特許文献3に記載された限流器は、直列共振回路と並列共振回路を組み合わせた構成を有している。さらに、特許文献4に記載された限流器は、直流電源を用いて可飽和直流リアクトルに磁気バイアスをかける構成を有している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開昭49-50448号公報
特許文献2：特開平9-285012号公報
特許文献3：特開2010-17016号公報
特許文献4：特開2002-291150号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1～4に記載された限流器は素子数が多く、装置

構成が複雑である。特に、特許文献３に記載された限流器は、ノイズを抑えるためのフィルタ回路を別途設ける必要があることから、さらに回路構成が複雑となる。また、特許文献４に記載された限流器は、磁気バイアスをかけるための直流電源が常に必要であり、直流電源が失われると限流器として機能しないという問題があった。

[0006] このように、従来の限流器は装置構成が複雑であることから、信頼性の確保が難しいばかりでなく、保守負担も大きいという問題があった。しかも、装置構成の複雑さに起因して、十分な応答速度を得ることも困難であった。

[0007] 他方、限流器は、通常動作時におけるインピーダンスができるだけ小さいことが望ましい。しかしながら、限流器単体では、通常動作時におけるインピーダンスを十分に小さくすることが困難である場合があった。

[0008] したがって、本発明は、単純な装置構成を有する信頼性の高い限流回路であって、通常動作時におけるインピーダンスが低減された限流回路を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明による限流回路は、交流電源から供給される電流を限流する限流回路であって、磁心及び前記磁心に巻回されたコイルを含む限流器と、前記限流器に直列に接続されたコンデンサとを備える。前記磁心の磁気特性は、第１軸を磁場とし第２軸を磁束密度又は磁化としたグラフの第１象限において、第１の磁場強度以下の第１の磁場領域では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が第１の値であり、前記第１の磁場強度よりも強い第２の磁場領域では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が前記第１の値よりも大きい第２の値である。前記コイルと前記コンデンサは、前記磁心に印加される磁場が前記第１の磁場領域である場合に、前記交流電源の周波数帯で共振するＬＣ共振回路を構成する。

[0010] 本発明によれば、コイルを流れる電流が所定値以下である場合には第１の磁場領域で動作することからリアクタンスが小さい一方、コイルを流れる電流が所定値を超えると第２の磁場領域で動作することからリアクタンスが増

大する。これにより、電流が所定値以下である場合には、電力系統や電気回路に対して実質的に負荷となることなく、電流が所定値を超えた場合に限流動作を行うことができる。しかも、磁心にコイルを巻回したシンプルな装置構成であることから、低コストで信頼性の高い限流器を提供することが可能となる。さらに、磁心に印加される磁場が第 1 の磁場領域である場合に、LC 共振回路が交流電源の周波数帯で共振することから、通常動作時におけるインピーダンスを大幅に低減することが可能となる。このような磁気特性を得るためには、磁心を構成する材料として、メタ磁性材料、パーミンバー特性材料又は合成反強磁性材料を用いればよい。

[0011] 本発明において、前記磁心に印加される磁場が前記第 2 の磁場領域である場合における前記 LC 共振回路の共振周波数は、前記交流電源の周波数帯と異なることが好ましい。これによれば、異常時におけるインピーダンスがより大きくなることから、より効果的な限流動作を行うことが可能となる。

発明の効果

[0012] このように、本発明によれば、単純な装置構成を有する信頼性の高い限流回路であって、通常動作時におけるインピーダンスが低減された限流回路を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図 1 は、本発明の実施形態による限流回路 100 を用いた電気回路の回路図である。

[図2]図 2 は、限流回路 100 を用いた電気回路の別の回路図である。

[図3]図 3 は、限流器 10 の具体的構成の一例を示す図である。

[図4]図 4 は、磁心 11 に用いられる磁性材料の磁気特性を示すグラフである。

[図5]図 5 は、磁心 11 に用いられる磁性材料の磁気特性を示すグラフであり、第 1 象限 (I) のみを示している。

[図6]図 6 は、限流器 10 のコイル 12 に流れる電流 I とインダクタンス L との関係を示すグラフである。

[図7]図7は、コイル12にかかる電圧Vとコイル12に流れる電流Iとの関係を示すグラフである。

[図8]図8は、磁心11に用いられる磁性材料の磁気特性を示す別のグラフである。

[図9]図9は、図8に示す特性の微分値を示すグラフである。

[図10]図10は、図8に示す特性の二回微分値を示すグラフである。

[図11]図11は、コイル12に流れる電流IとB/Hの値との関係を示すグラフである。

[図12]図12は、負荷30に印加される電圧波形を示すシミュレーション結果である。

[図13]図13は、限流器10に流れる電流波形を示すシミュレーション結果である。

[図14]図14は、限流器10の代わりに通常の線形リアクトルを用いた場合において、線形リアクトルに流れる電流波形を示すシミュレーション結果である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態について詳細に説明する。

[0015] 図1は、本発明の実施形態による限流回路100を用いた電気回路の回路図である。

[0016] 図1に示す電気回路は、交流電源20に直列に接続された限流回路100及び負荷30からなる。交流電源20は例えば商用電源であり、負荷30は交流電源20から供給される電力によって動作する各種電気機器である。本実施形態による限流回路100は、交流電源20と負荷30との間に直列に接続され、負荷30が短絡事故を起こした場合に流れる大電流を抑制する役割を果たす。図2に示すように、負荷30に対して遮断器40を直列に接続しても構わない。遮断器40を用いれば、負荷30が短絡事故を起こした場合、限流回路100によって大電流が抑制された状態で遮断器40による遮

断動作を行うことができる。

[0017] 図1及び図2に示すように、本実施形態による限流回路100は、リアクトル型の限流器10とコンデンサ50が直列に接続されたLC共振回路を構成する。通常動作時におけるLC共振回路の共振周波数は、交流電源20の周波数帯に設定されており、このため、通常動作時における限流回路100のインピーダンスは非常に小さい。LC共振回路の共振周波数が交流電源20の周波数と完全に一致している必要はないが、通常動作時における限流回路100のインピーダンスが十分に小さくなるよう、交流電源20の周波数近傍に設定する必要がある。これに対し、短絡事故が発生した異常時におけるLC共振回路の共振周波数は、交流電源20の周波数帯と異なっていることが好ましい。

[0018] 限流器10は単純なリアクトルである。詳細については後述するが、限流器10のリアクタンスは、電流Iが所定値以下である通常動作時には十分に小さい。しかも、上述の通り、通常動作時にはLC共振回路が共振していることから、電気回路に与えるインピーダンスは非常に小さい。これに対し、電流Iが所定値を超えた異常時には、限流器10のリアクタンスが大幅に上昇する。これにより、交流電源20に対して大きなインピーダンスとして働くことから、電流Iの増加が抑制される。このようなリアクタンスの変化はリアクトルの磁心に印加される磁場の変化（電磁誘導の原理）によるものであり、電流Iの変化に対して自発的に生じることから、電流値を検出するための素子などは不要である。

[0019] 図3は、本実施形態において用いる限流器10の具体的構成の一例を示す図である。

[0020] 図3に示す限流器10は、トロイダル型の磁心11と、磁心11に巻回されたコイル12によって構成されている。コイル12は、抵抗値の低い銅（Cu）を芯材に用いた被覆導線などを用いることが好ましい。トロイダル型の磁心11は閉磁路を構成しており、磁心11に巻回されたコイル12に電流Iが流れると、トロイダル型の磁心11を周回する磁束が発生する。しか

しながら、電流 I が所定値以下である通常動作時には磁心 11 の透磁率が十分に低く、このため発生するリアクタンスも小さい。そして、電流 I が所定値を超えた異常時になると磁心 11 の透磁率が急激に増加し、これによりリアクタンスも急激に増加する。

[0021] このような現象を発現させるべく、本実施形態においては、磁心 11 の材料として以下に詳述する磁性材料を用いている。

[0022] 図 4 は、磁心 11 に用いられる磁性材料の磁気特性を示すグラフであり、第 1 軸である横軸（X 軸）は磁場 H を示し、第 2 軸である縦軸（Y 軸）は磁化 M を示している。図 4 において、符号 A は磁心 11 の磁気特性を示し、符号 SM は一般的な軟磁性材料の磁気特性を示し、符号 HM は一般的な硬磁性材料の磁気特性を示している。

[0023] 図 4 において符号 SM で示すように、一般的な軟磁性材料は、低磁場領域においては透磁率が高く容易に磁化される一方、磁場強度が所定値を超えると磁気飽和を起し、それ以上はほとんど磁化されないという特性を示す。言い換えれば、磁気飽和しない磁場領域では、磁場 H に対する磁化 M の微分値が大きく、磁気飽和する磁場領域では、磁場 H に対する磁化 M の微分値が小さくなる。また、一般的な軟磁性材料は、ヒステリシスが無い、或いは、ヒステリシスが非常に小さいことから、符号 SM で示す特性曲線は、グラフの原点又はその近傍を通る。したがって、符号 SM で示す特性曲線は、グラフの第 1 象限（Ⅰ）及び第 3 象限（ⅢⅢ）に現れ、第 2 象限（ⅡⅡ）及び第 4 象限（ⅣⅣ）には実質的に現れない。

[0024] 図 4 において符号 HM で示すように、一般的な硬磁性材料は大きなヒステリシスを有しており、磁場がゼロであっても磁化された状態が維持される。このため、符号 HM で示す特性曲線は、グラフの第 1 象限（Ⅰ）～第 4 象限（ⅣⅣ）の全てに現れる。

[0025] これらの一般的な強磁性材料に対し、本実施形態において磁心 11 に用いる磁性材料は、グラフの第 1 象限（Ⅰ）及び第 3 象限（ⅢⅢ）において符号 A で示すように、低磁場領域においては透磁率が低いためほとんど磁化さ

れず、中磁場領域においては透磁率が高くなって容易に磁化され、さらに、強磁場領域になると磁気飽和を起こし、それ以上はほとんど磁化されないという特性を示す。選択する材料によっては、第1象限（I）及び第3象限（III）内において僅かにヒステリシスが存在するが、残留磁化はゼロ又は非常に小さいため、符号Aで示す特性曲線は実質的にグラフの原点を通る。符号Aで示す特性曲線が厳密にグラフの原点を通らない場合であっても、横軸又は縦軸の原点近傍を通ることになる。このことは、当該磁性材料が初期状態であるか、或いは、繰り返し磁場を印加した後の状態であるかにかかわらず、同じ磁気特性が得られることを意味する。このため、当該磁性材料を用いた限流器10は繰り返し使用することができ、且つ、限流動作が完了した後、自動復旧する。

[0026] 図5は、磁心11に用いられる磁性材料の磁気特性を示すグラフであり、第1象限（I）のみを示している。

[0027] 図5を用いて磁心11の磁気特性についてより具体的に説明すると、磁場Hが無い状態から磁場を高めていくと、第1の磁場強度H1までの領域（第1の磁場領域MF1）においては透磁率が低く、このため磁化Mの増加は僅かである。グラフの傾き、つまり、磁場Hに対する磁化Mの微分値は透磁率に連動する。第1の磁場領域MF1における透磁率は非磁性材料の透磁率と同程度であり、したがって、第1の磁場領域MF1においては実質的に非磁性材料として振る舞う。

[0028] 一方、第1の磁場強度H1から第2の磁場強度H2までの領域（第2の磁場領域MF2）においては透磁率が急激に高くなり、磁化Mの値は大幅に増加する。つまり、磁場を高めていくと、第1の磁場強度H1を境として透磁率が急激に増加する。第2の磁場領域MF2における透磁率は軟磁性材料の透磁率に近く、したがって、第2の磁場領域MF2においては軟磁性的に振る舞う。

[0029] さらに磁場を高めることによって第2の磁場強度H2を超えると（第3の磁場領域MF3）、磁気飽和を起こし、グラフの傾き、つまり透磁率は再び

低下する。

[0030] 逆に、第3の磁場領域MF3から磁場を弱めていき、第3の磁場強度H3を下回ると、第4の磁場強度H4までの領域で再び透磁率が高くなる。そして、第4の磁場強度H4を下回ると透磁率が低下し、再び非磁性材料として振る舞う。このように、第1象限(Ⅰ)内においてはヒステリシスを有しているものの、残留磁化はほとんど存在しないため、磁場Hを一旦ゼロ近辺に戻せば、再び上述した特性と同じ特性が得られる。

[0031] 磁心11を構成する磁性材料としては、上述した磁気特性を有する磁性材料であれば特に限定されないが、一例として、メタ磁性材料、パーミンバー特性材料及び合成反強磁性材料を挙げることができる。磁心11を構成する磁性材料は、メタ磁性材料、パーミンバー特性材料又は合成反強磁性材料の単体であっても構わないし、これらの組み合わせても構わないし、磁心11の一部が強磁性材料によって構成されていても構わない。

[0032] 磁心11をこのような磁性材料によって構成すれば、限流器10のコイル12に流れる電流Iの大きさによってインダクタンスを大きく変化させることが可能となる。ここで、磁心11に与えられる磁場Hは、コイル12の構造及びコイル12に流れる電流Iによって決まり、磁路長をML、コイル12の巻数をNとした場合、

$$H = N \times I / ML$$

で定義される。

[0033] 図6は、限流器10のコイル12に流れる電流IとインダクタンスLとの関係を示すグラフである。ここで、図6に示す電流値I1は、磁心11に与えられる磁場Hが第1の磁場強度H1となる電流値である。また、図6に示す電流値I2は、磁心11に与えられる磁場Hが第2の磁場強度H2となる電流値である。

[0034] 図6に示すように、コイル12に流れる電流Iが第1の電流値I1以下であれば、限流器10のインダクタンスの値はL1であり、十分に低い。これは、コイル12に流れる電流Iが第1の電流値I1以下である場合、磁心1

1 が第 1 の磁場領域 MF 1 にあり、透磁率が十分に低いからである。これにより、限流器 10 は電気回路に対してほとんど負荷とならない。ここで、第 1 の磁場領域 MF 1 における磁心 11 の透磁率を $\mu 1$ 、磁心 11 の断面積を S とした場合、第 1 の磁場領域 MF 1 におけるインダクタンス L 1 は、

$$L 1 = \mu 1 \times N^2 \times S / M L$$

で定義される。

[0035] これに対し、コイル 12 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I 1 を超えると、限流器 10 のインダクタンスの値は L 2 ($> L 1$) へ急激に増加する。これは、コイル 12 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I 1 を超えると、磁心 11 が第 2 の磁場領域 MF 2 となるため、透磁率が急激に増加するからである。第 1 の電流値 I 1 は限流器 10 の動作開始点であり、コイル 12 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I 1 を超えると、限流器 10 のインダクタンスが急激に増加する。これにより、電気回路に第 1 の電流値 I 1 を超える電流が流れると、限流器 10 は自発的に限流動作を開始することになる。ここで、第 2 の磁場領域 MF 2 における磁心 11 の透磁率を $\mu 2$ とした場合、第 2 の磁場領域 MF 2 におけるインダクタンス L 2 は、

$$L 2 = \mu 2 \times N^2 \times S / M L$$

で定義される。

[0036] そして、コイル 12 に流れる電流 I が第 2 の電流値 I 2 を超えると、限流器 10 のインダクタンスの値は L 3 ($< L 2$) へ急激に減少する。これは、コイル 12 に流れる電流 I が第 2 の電流値 I 2 を超えると、磁心 11 が第 3 の磁場領域 MF 3 となるからである。

[0037] 図 7 は、コイル 12 にかかる電圧 V とコイル 12 に流れる電流 I との関係を示すグラフである。図 7 に示すグラフは、コイル 12 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I 1 以下である場合にはグラフの傾きが示すインピーダンス Z 1 が低く、コイル 12 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I 1 を超えると、インピーダンス Z 2 が増加することを示している。

[0038] このように、本実施形態において用いる限流器 10 は、磁心 11 が図 4 及

び図5に示す磁気特性を有していることから、コイル12に流れる電流 I が第1の電流値 I_1 以下である場合にはほとんど負荷とならない一方、コイル12に流れる電流 I が第1の電流値 I_1 を超えると、インダクタンスの急激な増加によって限流動作を行うことが可能となる。尚、図4及び図5に示したグラフは縦軸が磁化 M であるが、縦軸を磁束密度 B に置き換えても、同様の関係が成り立つ。

[0039] 図8は、磁心11に用いられる磁性材料の磁気特性を示す別のグラフであり、第1軸である横軸は磁場 H を示し、第2軸である縦軸は磁束密度 B を示している。

[0040] 図8に示すように、縦軸を磁束密度 B に置き換えた場合であっても、磁心11の磁気特性は、グラフの第1象限(Ⅰ)において同様の特性曲線を描く。つまり、低磁場である第1の磁場領域 $MF1$ においては傾きが小さく、中磁場である第2の磁場領域 $MF2$ においては傾きが急激に大きくなり、強磁場である第3の磁場領域 $MF3$ においては傾きが再び小さくなる。また、図8に示すグラフにおいても、磁心11の磁気特性を示す特性曲線は実質的に原点を通り、厳密にグラフの原点を通らない場合であっても、横軸又は縦軸の原点近傍を通る。

[0041] 図9は図8に示す特性の微分値を示すグラフであり、図10は図8に示す特性の二回微分値を示すグラフである。図9に示す特性は、磁心11を構成する磁性材料の微分透磁率に相当する。

[0042] 図9に示すように、図8に示す特性を一回微分すると、第2の磁場領域 $MF2$ において微分値が極大となる。第1の磁場領域 $MF1$ 及び第3の磁場領域 $MF3$ では、微分値は小さい値のままである。そして、図10に示すように、図8に示す特性を二回微分すると、第2の磁場領域 $MF2$ において二回微分値が正の値から負の値に反転する。第1の磁場領域 $MF1$ 及び第3の磁場領域 $MF3$ では、二回微分値はほぼゼロである。このように、磁心11に用いられる磁性材料は、磁場 H に対して磁束密度 B を二回微分すると、二回微分値が正の値から負の値に反転するという特徴を有している。

[0043] 図 1 1 は、コイル 1 2 に流れる電流 I と B/H の値との関係を示すグラフである。 B/H の値は平均透磁率に相当する。

[0044] 図 1 1 に示すように、コイル 1 2 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I_1 以下である場合には、 B/H の値（平均透磁率）は低く、その変化もほとんど無いことから、電気回路に与える影響は僅かである。これに対し、コイル 1 2 に流れる電流 I が第 1 の電流値 I_1 を超えると、 B/H の値（平均透磁率）が急激に増加する。その後、コイル 1 2 に流れる電流 I が第 2 の電流値 I_2 を超えると、 B/H の値（平均透磁率）が徐々に減少する。これは、第 3 の磁場領域 $M_F 3$ においては磁心 1 1 が磁気飽和するからである。

[0045] 既に説明した通り、磁心 1 1 を構成する磁性材料としては、メタ磁性材料、パーミンバー特性材料及び合成反強磁性材料を挙げることができる。どの磁性材料を使用するかは、限流器 1 0 に求められる諸特性（主に、第 1 の磁場強度 H_1 の値）に応じて適宜選択すればよい。

[0046] メタ磁性材料とは、磁場により常磁性（ $PM: Paramagnetic$ ）もしくは反強磁性（ $AFM: Anti-Ferromagnetic$ ）から強磁性（ $FM: Ferromagnetic$ ）に一次相転移する材料を指す。磁場による一次相転移とは、磁場に関する磁化の変化が不連続になる点をもつことを指す。メタ磁性材料において一次相転移が生じる磁場は、通常 $1 \sim 10\text{ T}$ と比較的大きな磁場であるため、これを磁心 1 1 の材料として用いる限流器 1 0 としては、電力系統、大容量コンデンサ回路、電力用トランス回路といった大電流用の用途が好適である。尚、一部の反強磁性材料も、磁場 H を著しく高めれば磁束密度 B が急激に増加する特性が得られるが、そのような変化をもたらす磁場強度（つまり、第 1 の磁場強度 H_1 ）は $10 \sim 100\text{ T}$ と極めて強く、限流器 1 0 のコイル 1 2 によってそのような磁場を作ることは現実的に不可能である。このため、磁心 1 1 の材料として反強磁性材料を用いても、事実上、限流器として機能させることは困難である。

[0047] メタ磁性材料は、磁場により常磁性から強磁性に転移する常磁性強磁性転移型（ $PM-FM$ 転移型）と、反強磁性から強磁性に転移する反強磁性強磁

性転移型（AFM-FM転移型）に分類される。PM-FM転移型は、キュリー温度の近傍でのみ一次相転移が生じることから、限流器10の動作温度もキュリー温度付近に限られる。これに対し、AFM-FM転移型は、反強磁性状態が消失するネール温度以下であれば一次相転移が生じるため、より幅広い温度で限流器10を動作させることが可能となる。

[0048] メタ磁性材料の具体例としては、 $\text{La}(\text{FeSi})_{13}$ 系、 $\text{La}(\text{FeSi})_{13}\text{H}$ 系、 MnAs 系、 $\text{Mn}(\text{AsSb})$ 系、 MnAl 系、 FeRh 系、 NiMnIn 系、 Mn_3GaC 系、 Mn_3SnC 系、 Mn_3SnB 系材料が挙げられる。特に、室温近傍において一次相転移が生じる $\text{La}(\text{FeSi})_{13}\text{H}$ 系、 MnAs 系、 $\text{Mn}(\text{AsSb})$ 系、 MnAl 系材料が好ましく、最も好ましいのは、AFM-FM転移型メタ磁性材料である MnAl 系材料である。室温近傍において一次相転移が生じない材料を使用する場合は、ヒーターもしくは冷却装置を用いて、一次相転移が生じる温度帯に維持すればよい。

[0049] 次に、パーミンバー特性材料とは、パーミンバーと呼ばれる $\text{Ni}45\text{wt}\% \text{Co}25\text{wt}\% \text{Fe}$ 残で確認された特殊なBH特性を示す材料である。具体的には、パーミンバー、Moパーミンバー、超パーミンバー、イソパーム、センパームなどが挙げられる。また、 NiZn フェライトや CoB 系アモルファス材料もパーミンバー特性材料として挙げられる。

[0050] パーミンバー特性材料は、比較的低い磁場ではヒステリシスがなく、且つ、傾きの小さい直線的なBH特性を示し、ある磁場（第1の磁場強度 H_1 ）を超えると、傾きの大きなBH特性を示す。パーミンバー特性材料を用いた場合、第1の磁場強度 H_1 は、メタ磁性材料の $1/100 \sim 1/1000$ であるため、これを磁心11の材料として用いれば、小電力用の限流器を構成することが可能となる。

[0051] また、パーミンバー特性材料は、強磁性が保たれるキュリー温度以下であれば、磁場強度に応じた透磁率の変化が生じるため、室温を含めた幅広い温度での動作が可能である。さらに、パーミンバー特性材料は、磁場印加による磁歪が小さいため、磁心11として用いた場合に高い耐久性を得ることも

可能となる。しかも、パーミンバー特性材料を構成する組成は、多くが遷移金属であるため、白金族元素や希土類元素を含んだメタ磁性材料と比較して、材料コストが安いという利点もある。

[0052] 尚、パーミンバー特性材料は、通常動作時（つまり、第1の磁場領域MF1）における透磁率がメタ磁性材料と比較して10～100倍以上の値を持つことから、磁心11の材料としてパーミンバー特性材料を用いた限流器10は、通常動作時にはリアクトルとして利用することも可能である。

[0053] 次に、合成反強磁性材料とは、強磁性相と強磁性相が反強磁性的に結合することで、反強磁性的な特性を示す材料を指す。合成反強磁性材料は、反強磁性材料とは異なり、反強磁性結合強度が小さいため、ある磁場（第1の磁場強度H1）を超えると、強磁性的な磁化配列となる。具体的な材料としては、FeCo/Ru/FeCo薄膜が挙げられる。合成反強磁性材料を用いた場合、第1の磁場強度H1は、メタ磁性材料の1/10～1/100であるため、これを磁心11の材料として用いれば、中電力用の限流器を構成することが可能となる。

[0054] 以上説明したように、本実施形態において用いる限流器10は、上述した特性を有する磁性材料からなる磁心11にコイル12を巻回したものであり、非常にシンプルな構成を有している。これにより、ダイオード及びサイリスタなどの能動素子や、直流電源などを用いることなく、自発的かつ高速に限流動作を行うことができることから、低コスト化及び信頼性の向上を実現することが可能となる。そして、本実施形態においては、このような限流器10とコンデンサ50を直列に接続することによってLC共振回路を構成していることから、通常動作時におけるインピーダンスを非常に小さくすることが可能となる。

[0055] 図12及び図13は、本実施形態による限流回路100の動作波形図であり、図12は負荷30に印加される電圧波形を示し、図13は限流器10に流れる電流波形を示している。図12及び図13とも、交流電源20が商用電源（50Hz又は60Hz、実効電圧100V、最大電圧141V）であ

り、時刻 t_1 において短絡事故が発生した場合のシミュレーション結果である。

[0056] 図 12 に示すように、時刻 t_1 以前の期間においては、負荷 30 に印加される電圧の最大値が約 141 V であり、交流電源 20 から供給される交流電圧がほとんど低下することなく、負荷 30 に印加される。これは、限流器 10 とコンデンサ 50 からなる LC 共振回路の共振周波数が交流電源 20 の周波数帯に設定されており、当該周波数におけるインピーダンスが非常に低いからである。そして、時刻 t_1 において短絡事故が発生すると、図 12 に示すように、負荷 30 に印加される電圧はほぼゼロになる。しかしながら、短絡事故が発生すると限流器 10 のリアクタンスが瞬時に上昇することから、図 13 に示すように電流の増大が抑制される。

[0057] 図 14 は、限流器 10 の代わりに通常の線形リアクトルを用いた場合において、線形リアクトルに流れる電流波形を示すシミュレーション結果である。図 14 に示すように、限流器 10 の代わりに通常の線形リアクトルを用いた場合、時刻 t_1 において短絡事故が発生すると、電流値が急速に増大することが分かる。

[0058] これに対し、本実施形態による限流回路 100 を用いれば、短絡事故が発生すると限流器 10 のリアクタンスが瞬時に上昇することから、電流の増大が抑制される。しかも、磁心 11 に印加される磁場が第 2 の磁場領域 MF 2 である場合における共振周波数が交流電源 20 の周波数帯と異なっていれば、短絡事故の発生と同時に共振動作も停止することから、インピーダンスをより高めることができる。これらにより、本実施形態による限流回路 100 を用いれば、短絡事故が発生した場合であっても、系統機器や回路素子の損傷を防止することが可能となる。

[0059] 以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、上記の実施形態に限定されることなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

[0060] 例えば、上記実施形態において用いた限流器 10 は、トロイダル型の磁心 11 にコイル 12 を巻回した構成を有しているが、本発明による限流器がこれに限定されるものではない。したがって、磁心の形状としてはトロイダル型以外の E 型、U 型、I 型形状であっても構わない。また、磁心 11 には磁気ギャップが設けられていても構わない。コイル 12 についても、銅 (Cu) を芯材に用いた被覆導線に限定されず、超伝導体を用いても構わない。

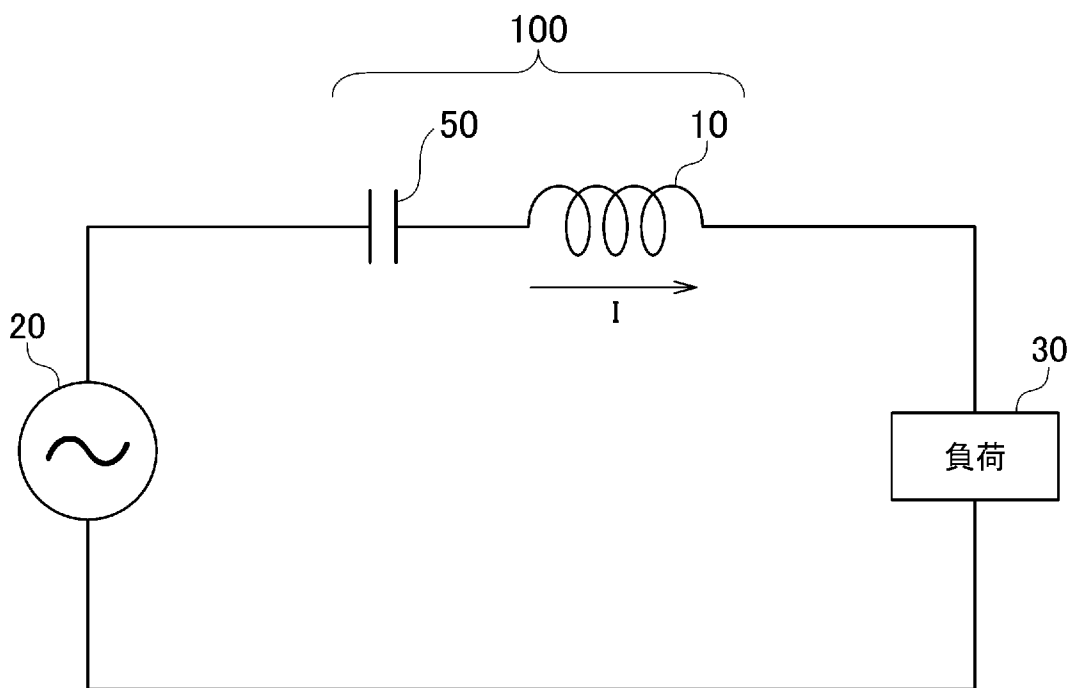
符号の説明

[0061]	10	限流器
	11	磁心
	12	コイル
	20	交流電源
	30	負荷
	40	遮断器
	50	コンデンサ
	100	限流回路

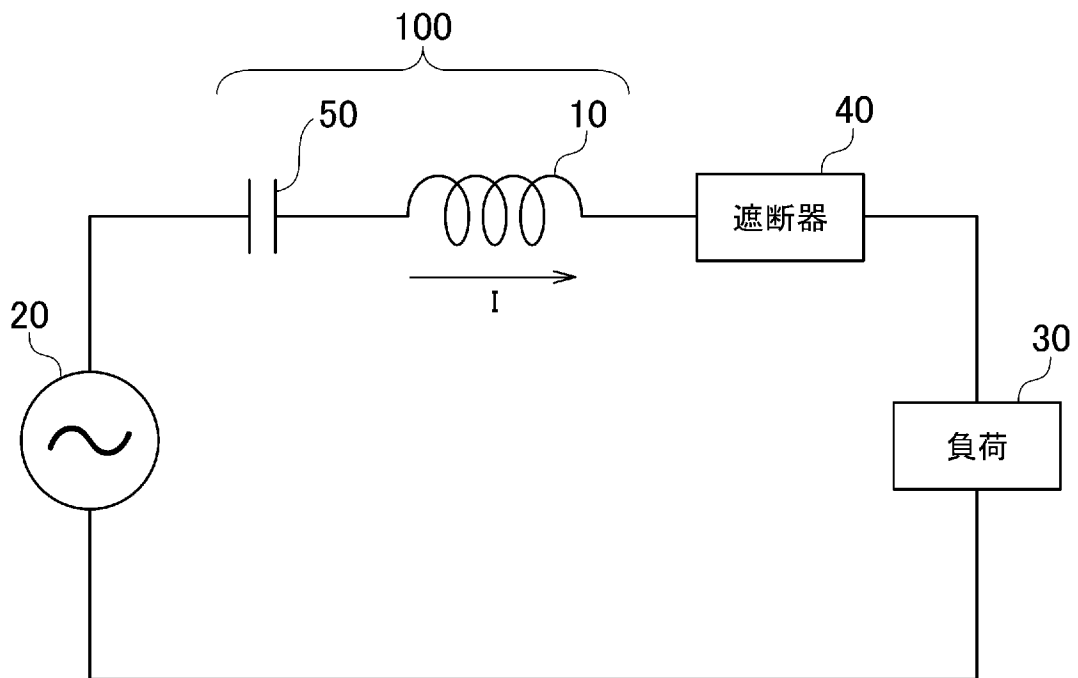
請求の範囲

- [請求項1] 交流電源から供給される電流を限流する限流回路であって、
磁心及び前記磁心に巻回されたコイルを含む限流器と、
前記限流器に直列に接続されたコンデンサと、を備え、
前記磁心の磁気特性は、第1軸を磁場とし第2軸を磁束密度又は磁化としたグラフの第1象限において、第1の磁場強度以下の第1の磁場領域では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が第1の値であり、前記第1の磁場強度よりも強い第2の磁場領域では、磁場に対する磁束密度又は磁化の微分値が前記第1の値よりも大きい第2の値であり、
前記コイルと前記コンデンサは、前記磁心に印加される磁場が前記第1の磁場領域である場合に、前記交流電源の周波数帯で共振するLC共振回路を構成することを特徴とする共振型限流回路。
- [請求項2] 前記磁心に印加される磁場が前記第2の磁場領域である場合における前記LC共振回路の共振周波数は、前記交流電源の周波数帯と異なることを特徴とする請求項1に記載の共振型限流回路。
- [請求項3] 前記磁心は、メタ磁性材料、パーミッター特性材料又は合成反強磁性材料を含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の共振型限流回路。

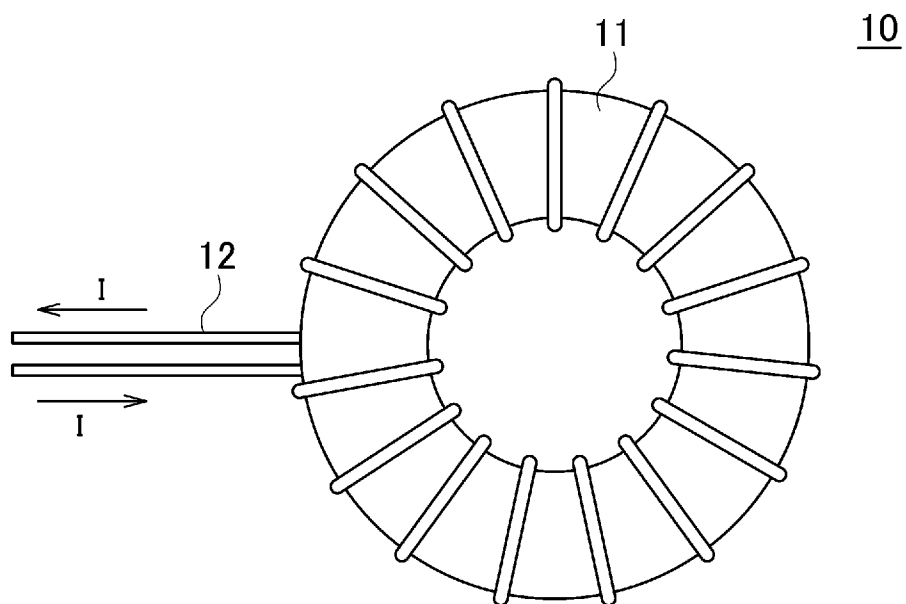
[図1]



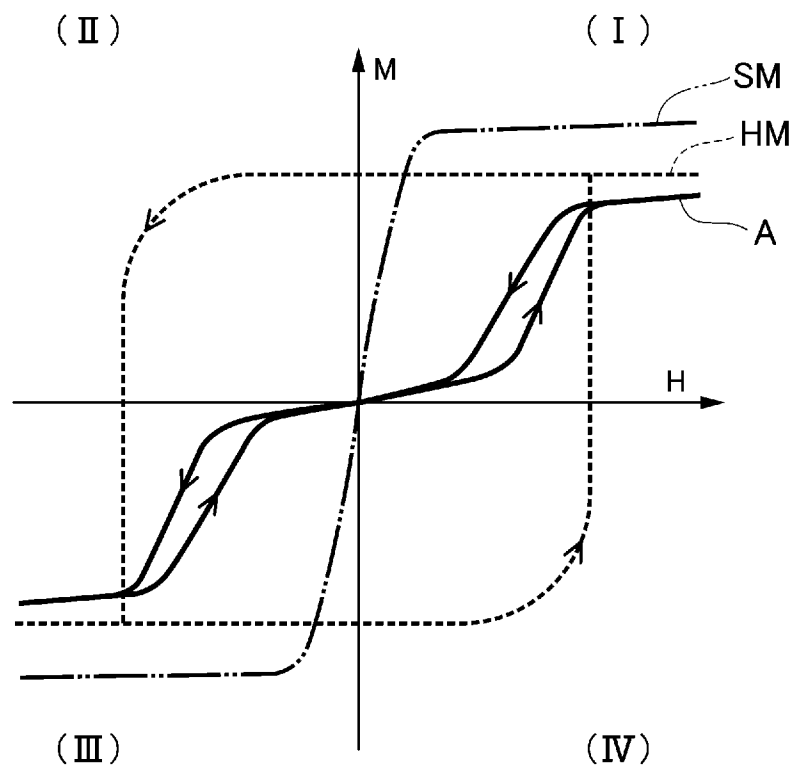
[図2]



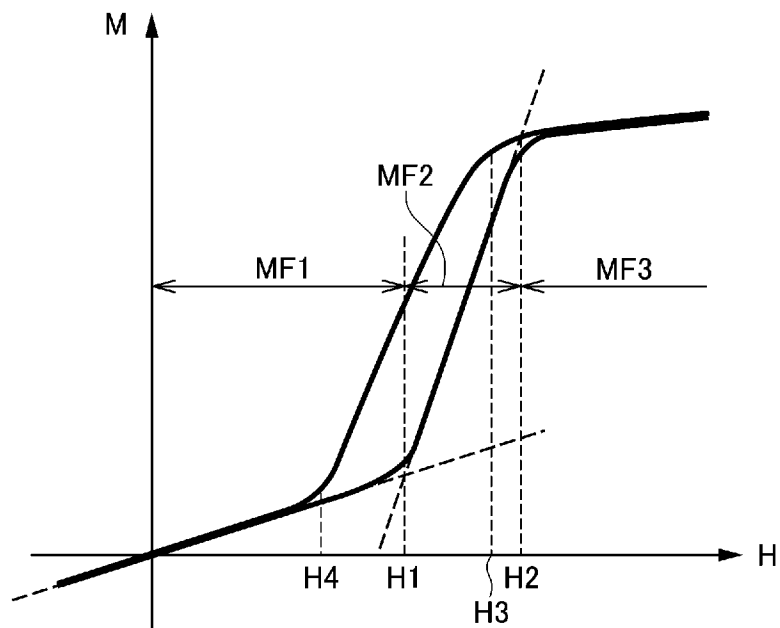
[図3]



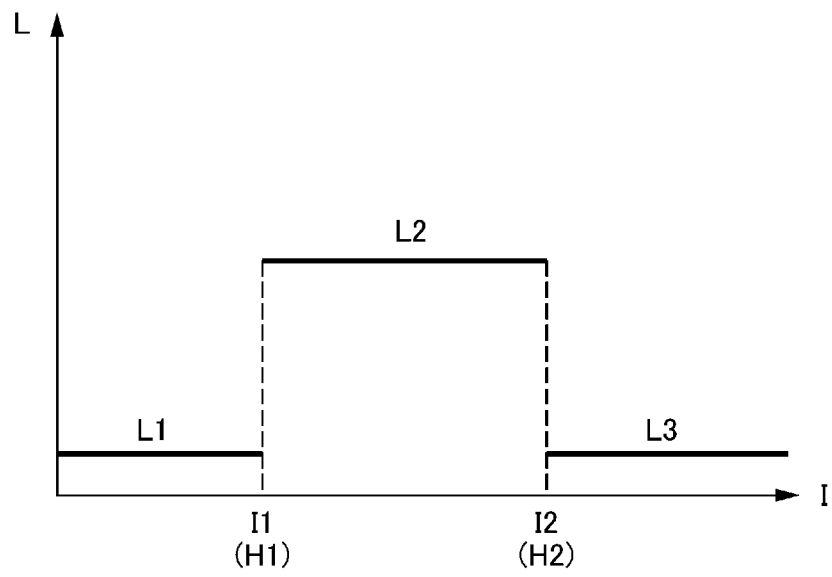
[図4]



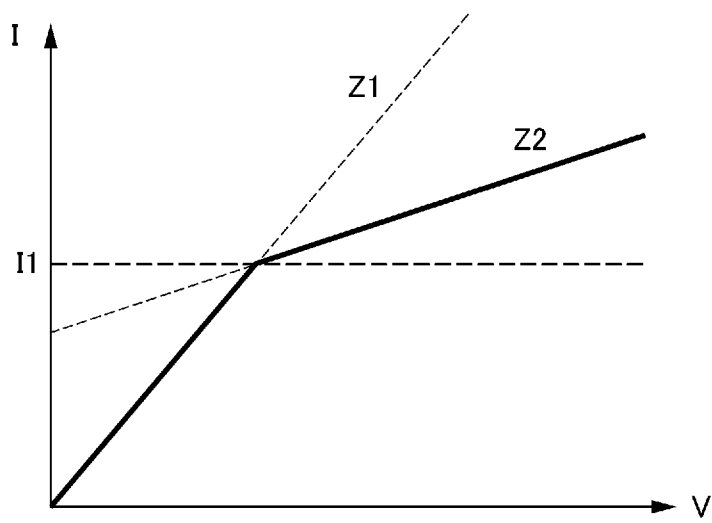
[図5]



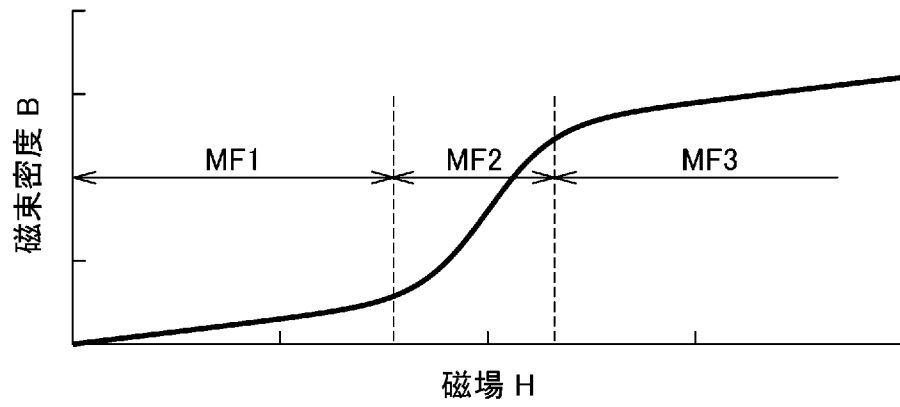
[図6]



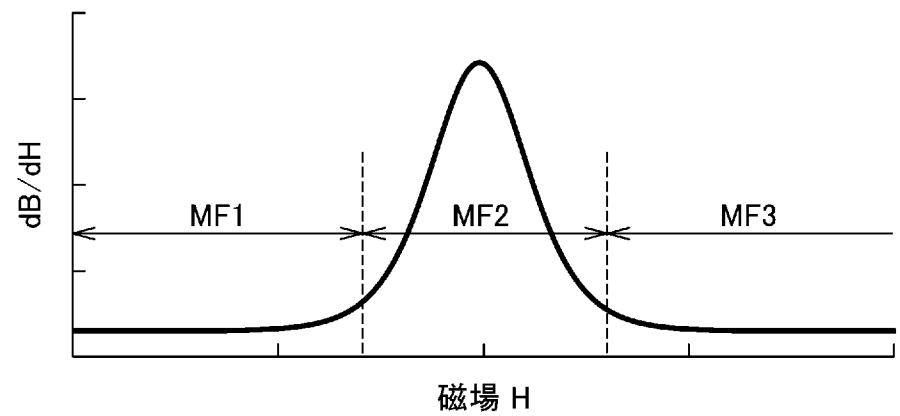
[図7]



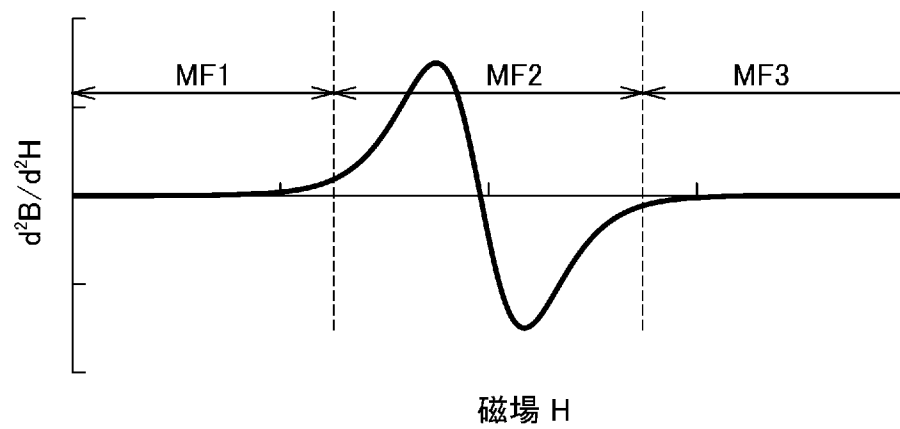
[図8]



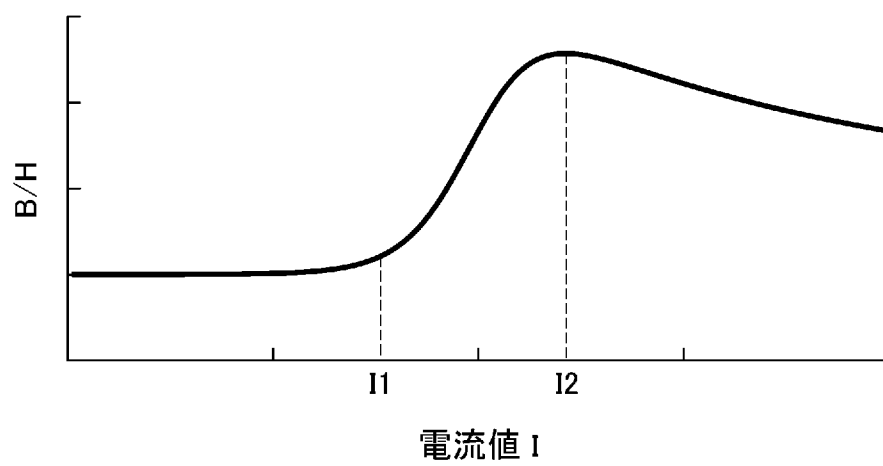
[図9]



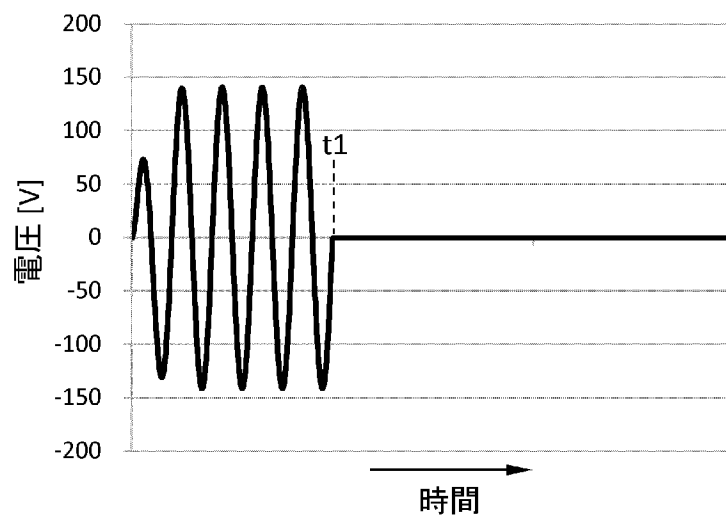
[図10]



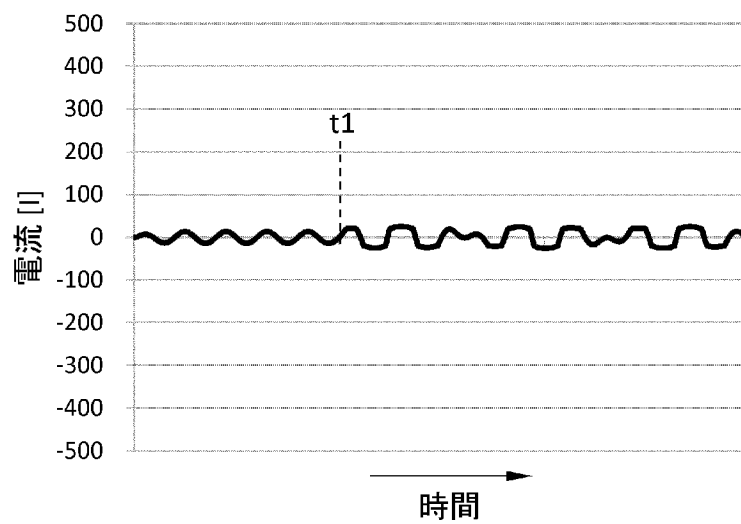
[図11]



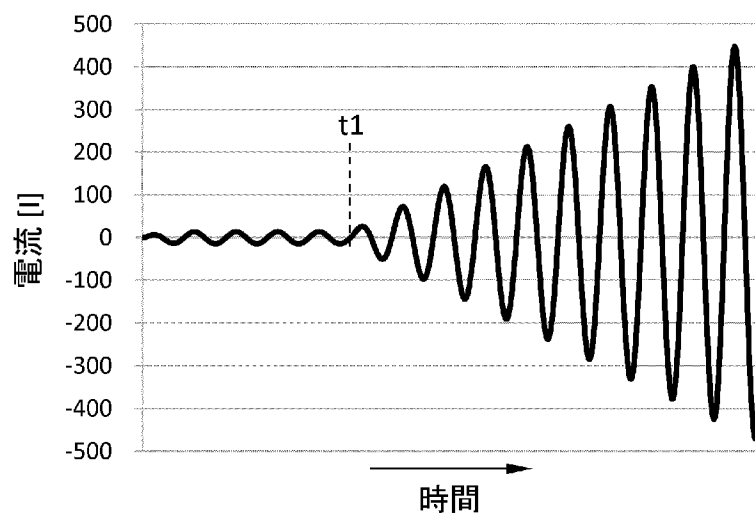
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/046984

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02H9/02 (2006.01) i, H01F1/147 (2006.01) i, H01F37/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H02H9/02, H01F1/147, H01F37/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 160881/1981 (Laid-open No. 66833/1983) (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 07 May 1983, entire text, all drawings (Family: none)	1-3
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 160880/1981 (Laid-open No. 66832/1983) (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 07 May 1983, entire text, all drawings (Family: none)	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02H9/02(2006.01)i, H01F1/147(2006.01)i, H01F37/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02H9/02, H01F1/147, H01F37/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	日本国実用新案登録出願56-160881号(日本国実用新案登録出願公開58-66833号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (日新電機株式会社) 1983.05.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3
A	日本国実用新案登録出願56-160880号(日本国実用新案登録出願公開58-66832号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (日新電機株式会社) 1983.05.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

17.01.2018

国際調査報告の発送日

20.03.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

坂東 博司

5 T

4 2 3 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3568