

(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
2012 年 12 月 6 日(06.12.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/164845 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 17/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/003190
- (22) 国際出願日: 2012 年 5 月 16 日(16.05.2012)
- (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 2011-124443 2011 年 6 月 2 日(02.06.2011) JP
特願 2011-128661 2011 年 6 月 8 日(08.06.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社アドバンテスト(ADVANTEST CORPORATION) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 圓道 祐樹(ENDO, Yuki) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号株式会社アドバンテスト内 Tokyo (JP). 古川 靖夫(FURUKAWA, Yasuo) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号株式会社アドバンテスト内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 森下 賢樹(MORISHITA, Sakaki); 〒1500021 東京都渋谷区恵比寿西 2-11-12 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

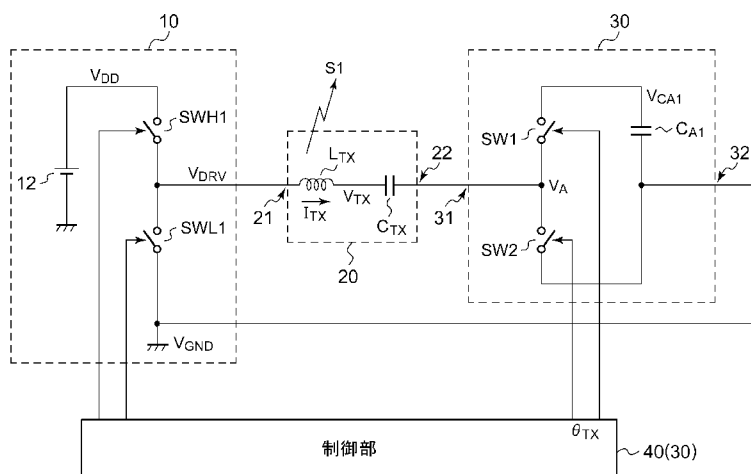
添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第 21 条(3))

(54) Title: WIRELESS POWER-RECEIVING DEVICE, WIRELESS POWER-SUPPLY DEVICE AND WIRELESS POWER-SUPPLY SYSTEM, AND AUTOMATIC-TUNING AUXILIARY CIRCUIT

(54) 発明の名称: ワイヤレス受電装置、ワイヤレス給電装置およびワイヤレス給電システム、自動チューニング補助回路

【図2】



(57) Abstract: An automatic-tuning auxiliary circuit (30) is coupled to a transmission antenna (20). A plurality of switches (SW1, SW2) and a first auxiliary capacitor (C_{A1}) are provided between a first terminal (31) and a second terminal (32) of the automatic-tuning auxiliary circuit (30). A first control unit (40) operates the plurality of switches (SW1, SW2) in synchronization with a drive voltage (V_{DRV}). A power supply (10) applies said drive voltage (V_{DRV}) across terminals of the transmission antenna (20) and the automatic-tuning auxiliary circuit (30).

(57) 要約: 自動チューニング補助回路 30 は、送信アンテナ 20 に対してカップリングされる。自動チューニング補助回路 30 の第 1 端子 31 と第 2 端子 32 の間には、複数のスイッチ SW1、SW2 および第 1 補助キャパシタ C_{A1} が設けられる。第 1 制御部 40 は、複数のスイッチ SW1、SW2 を、駆動電圧 V_{DRV} と同期してスイッチングする。電源 10 は、送信アンテナ 20 と自動チューニング補助回路 30 の両端間に駆動

電圧 V_{DRV} を印加する。

WO 2012/164845 A1

明 細 書

発明の名称：

ワイヤレス受電装置、ワイヤレス給電装置およびワイヤレス給電システム、自動チューニング補助回路

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤレス給電技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話端末やノート型コンピュータなどの電子機器、あるいは電気自動車に対する給電技術として、ワイヤレス（非接触）電力伝送が着目されている。ワイヤレス送電は、主に電磁誘導型、電波受信型、電場・磁場共鳴型、の3つに分類される。

[0003] 電磁誘導型は短距離（数cm以内）において利用され、数百kHz以下の帯域で数百Wの電力を伝送することができる。電力の利用効率は60～98％程度となっている。

数m以上の比較的長い距離に給電する場合、電波受信型が利用される。電波受信型では、中波～マイクロ波の帯域で数W以下の電力を伝送することができるが、電力の利用効率は低い。数m程度の中距離を、比較的高い効率で給電する手法として、電場・磁場共鳴型が着目されている（非特許文献1参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：A. Karalis, J.D. Joannopoulos, M. Soljacic, 「Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer」、ANNALS of PHYSICS Vol. 323, pp.34-48, 2008, Jan.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 図1は、比較技術に係るワイヤレス送電システムを示す図である。ワイヤレス送電システム1rは、ワイヤレス給電装置2rおよびワイヤレス受電装置4rを備える。ワイヤレス給電装置2rは、送信コイル L_{TX} 、共振用キャパシタ C_{TX} 、交流電源10rを備える。ワイヤレス受電装置4rは、受信コイル L_{RX} 、共振用キャパシタ C_{RX} 、負荷70を備える。

[0006] 磁場（電場）共鳴型の電力伝送において重要となるのが共振周波数である。送信側のLC共振回路の共振周波数は、 $f_{TX} = 1 / (2\pi\sqrt{L_{TX} \cdot C_{TX}})$ 、受信側の共振周波数は、 $f_{RX} = 1 / (2\pi\sqrt{L_{RX} \cdot C_{RX}})$ であり、送受信双方の共振周波数と、交流電源10rの周波数を適切に調節しなければ、効率よく電力伝送が行えない。ところが現実的には、さまざまな要因によって共振周波数は変動する。この変動した共振周波数を、受電装置側において、給電装置から伝送されてくる磁界（電界）そのものにもとづいてチューニングすることは難しい。なぜなら、受電装置側で検出される共振周波数は、受電装置側の共振周波数や位相の状態に応じてさらに変動する可能性があるからである。

[0007] 本発明に係る課題に鑑みてなされたものであり、そのある態様の例示的な目的のひとつは、共振周波数を自動的にチューニング可能なワイヤレス給電装置、受電装置および給電システムの提供にある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明のある態様は、ワイヤレス受電装置に対して、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置に関する。ワイヤレス給電装置は、送信コイルを含む送信アンテナと、送信アンテナとカップリングされる自動チューニング補助回路と、送信アンテナおよび自動チューニング補助回路の両端間に交流の駆動電圧を印加する電源と、を備える。自動チューニング補助回路は、第1端子と、第2端子と、N個（Nは自然数）の補助キャパシタと、複数のスイッチと、第1制御部と、を備える。複数のスイッチはそれぞれ、第1端子、第2端子、N個の補助キャパシタの端子のうち2つの間に設けられる。第1制御部は、複数のスイッチそれぞれを、駆

動電圧と同期してスイッチングする。

[0009] 駆動電圧の周波数が、送信アンテナを含む共振回路の共振周波数と一致しない場合、共振回路は容量性または誘導性となるため、送信アンテナには、駆動電圧に対して遅れたあるいは進んだ位相の共振電流が発生する。この状態で第1スイッチおよび第2スイッチを、駆動電圧と同期して、ある位相差でスイッチングすると、第1補助キャパシタは、共振電流と駆動電圧が同位相となるように充電もしくは放電される。そして第1補助キャパシタに生ずる補正電圧が、送信アンテナに印加されることにより、擬似的な共振状態を実現できる。この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、送信アンテナを駆動電圧に対して自動的にチューニングすることができる。なお、本明細書において「位相差」はゼロ、すなわち同相の場合も含む。

[0010] 第1制御部は、複数のスイッチそれぞれを、駆動電圧と同じ周波数、その奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングしてもよい。

[0011] 自動チューニング補助回路は、第1端子と第2端子の間に直列に設けられた、第1スイッチおよび第1補助キャパシタと、第1端子と第2端子の間に第1スイッチおよび第1補助キャパシタに対して並列に設けられた第2スイッチと、含んでもよい。

[0012] 第1制御部は、第1スイッチおよび第2スイッチを、駆動電圧と同じ周波数で、かつ駆動電圧に対してある位相差で相補的にスイッチングしてもよい。

[0013] ある態様において自動チューニング補助回路は、第1端子と第2端子の間に、第2スイッチと直列に設けられた第2補助キャパシタをさらに含んでもよい。

この場合、第1補助キャパシタに加えて、第2補助キャパシタが、共振電流と駆動電圧が同位相となるように充電もしくは放電されることになり、擬似的な共振状態を実現できる。

[0014] 第1制御部は、第1スイッチおよび第2スイッチを、駆動電圧と同じ周波

数で、かつ駆動電圧に対してある位相差で相補的にスイッチングしてもよい。

[0015] 第1スイッチ、第2スイッチは、片方向スイッチで構成されてもよい。第1制御部は、第1スイッチおよび第2スイッチを、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングしてもよい。

[0016] 第1スイッチ、第2スイッチは、双方向スイッチで構成されてもよい。この場合、スイッチングの位相の制約を緩和できる。

[0017] 自動チューニング補助回路は、トランスを介して送信アンテナと直列にカップリングされてもよい。

[0018] ある態様において、電源は、直流電源と、直流電源の出力端子と固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第1ハイサイドスイッチおよび第1ローサイドスイッチと、を含んでもよい。送信アンテナおよび自動チューニング補助回路は、第1ハイサイドスイッチおよび第1ローサイドスイッチの接続点と固定電圧端子との間に直列にカップリングされてもよい。

[0019] ある態様において、電源は、直流電源と、直流電源の出力端子と固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第1ハイサイドスイッチおよび第1ローサイドスイッチと、直流電源の出力端子と固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第2ハイサイドスイッチおよび第2ローサイドスイッチと、を含んでもよい。送信アンテナおよび自動チューニング補助回路は、第1ハイサイドスイッチおよび第1ローサイドスイッチの接続点と、第2ハイサイドスイッチおよび第2ローサイドスイッチの接続点との間に直列にカップリングされてもよい。

[0020] 送信アンテナは、送信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタを含んでもよい。

[0021] 電源は、送信アンテナおよび自動チューニング補助回路の両端間に、トランスを介して交流の駆動電圧を印加してもよい。

[0022] 本発明の別の態様は、ワイヤレス給電システムに関する。ワイヤレス給電システムは、上述のいずれかの態様のワイヤレス給電装置と、ワイヤレス給

電装置からの電力信号を受信するワイヤレス受電装置と、を備える。

[0023] 本発明の別の態様は、ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を受信するワイヤレス受電装置に関する。ワイヤレス受電装置は、受信コイルを含む受信アンテナと、受信アンテナとカップリングされる自動チューニング補助回路と、を備える。自動チューニング補助回路は、第1端子と、第2端子と、N個（Nは自然数）の補助キャパシタと、複数のスイッチと、第2制御部と、を備える。複数のスイッチはそれぞれ、第1端子、第2端子、N個の補助キャパシタの端子のうち2つの間に設けられる。第2制御部は、複数のスイッチそれぞれをスイッチングする。

[0024] 電力信号の周波数が、受信アンテナを含む共振回路の共振周波数と一致しない場合、共振回路は容量性または誘導性となるため、共振回路に流れる共振電流と共振回路に生ずる共振電圧の間には、位相遅れあるいは位相進みが生ずる。この状態で第3スイッチおよび第4スイッチを、電力信号と同じ周波数でスイッチングすると、第3補助キャパシタは、共振電流と共振電圧が同位相となるように充電もしくは放電される。そして第3補助キャパシタに生ずる補正電圧が、受信アンテナに印加されることにより、擬似的な共振状態を実現できる。この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、受信アンテナを電力信号に対して自動的にチューニングすることができる。

[0025] 第2制御部は、複数のスイッチそれぞれを、電力信号と同じ周波数、その奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングしてもよい。

[0026] 自動チューニング補助回路は、第1端子と第2端子の間に直列に設けられた、第3スイッチおよび第3補助キャパシタと、第1端子と第2端子の間に、第3スイッチおよび第3補助キャパシタに対して並列に設けられた第4スイッチと、を含んでもよい。

[0027] 第2制御部は、第3スイッチおよび第4スイッチを電力信号と同じ周波数で相補的にスイッチングしてもよい。

第2制御部は、ワイヤレス給電装置において送信アンテナに印加される駆動電圧に対して、所定の位相差で第3スイッチおよび第4スイッチを駆動してもよい。

[0028] ある態様において自動チューニング補助回路は、第1端子と第2端子の間に、第4スイッチと直列に設けられた第4補助キャパシタをさらに備えてもよい。

この場合、第3補助キャパシタに加えて、第4補助キャパシタが、共振電流と駆動電圧が同位相となるように充電もしくは放電され、擬似的な共振状態を実現できる。

[0029] 第3スイッチ、第4スイッチは、片方向スイッチで構成されてもよい。第2制御部は、第3スイッチおよび第4スイッチを、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングしてもよい。

[0030] 第3スイッチ、第4スイッチは、双方向スイッチで構成されてもよい。この場合、スイッチングの位相の制約を緩和できる。

[0031] 電力を供給すべき負荷は、第3補助キャパシタに接続されてもよいし、受信アンテナの第1端に接続されてもよい。

ある態様のワイヤレス受電装置は、その1次巻線が受信アンテナと直列に設けられたトランスをさらに備えてもよい。電力を供給すべき負荷は、トランスの2次巻線に接続されてもよい。

[0032] 自動チューニング補助回路は、トランスを介して受信アンテナと直列にカップリングされてもよい。

[0033] 受信アンテナは、受信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタを含んでもよい。

[0034] 本発明の別の態様は、ワイヤレス給電システムに関する。このワイヤレス給電システムは、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置と、電力信号を受信する上述のいずれかの態様のワイヤレス受電装置と、を備えてもよい。

[0035] 本発明の別の態様は、ワイヤレス給電装置に使用され、送信コイルとカッ

プリングされる自動チューニング補助回路に関する。自動チューニング補助回路は、少なくともひとつの補助キャパシタと、送信コイルに流れる共振電流によって少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれを充電および放電するために設けられた複数のスイッチと、複数のスイッチをスイッチングすることにより、少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれの両端間にキャパシタ電圧を発生させるとともに、少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれのキャパシタ電圧に応じた補正電圧を、送信コイルに印加せしめる第1制御部と、を備える。

自動チューニング補助回路を設けることで、擬似的な共振状態を実現でき、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、送信アンテナを駆動電圧に対して自動的にチューニングすることができる。

[0036] 本発明の別の態様は、ワイヤレス受電装置に使用され、受信コイルとカップリングされる自動チューニング補助回路に関する。自動チューニング補助回路は、少なくともひとつの補助キャパシタと、受信コイルに流れる共振電流によって少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれを充電および放電するために設けられた複数のスイッチと、複数のスイッチをスイッチングすることにより、少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれの両端間にキャパシタ電圧を発生させるとともに、少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれのキャパシタ電圧に応じた補正電圧を、受信コイルに印加せしめる第2制御部と、を備える。

自動チューニング補助回路を設けることで、擬似的な共振状態を実現でき、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、受信アンテナを電力信号に対して自動的にチューニングすることができる。

[0037] なお、以上の構成要素の任意の組み合わせや本発明の構成要素や表現を、方法、装置、システムなどの間で相互に置換したものもまた、本発明の態様として有効である。

発明の効果

[0038] 本発明のある態様によれば、共振周波数を自動的にチューニングできる。

図面の簡単な説明

[0039] [図1]比較技術に係るワイヤレス送電システムを示す図である。

[図2]第1の実施の形態に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図3]図3(a)～(f)は、MOSFETを用いたスイッチの構成例を示す図である。

[図4]図2のワイヤレス給電装置の動作を示す波形図である。

[図5]図2のワイヤレス給電装置の等価回路図である。

[図6]図6(a)は、自動チューニング補助回路を動作させない状態、図6(b)は、自動チューニング補助回路を動作させたときの波形図である。

[図7] $f_c < f_{TX}$ の場合の、自動チューニング補助回路による疑似共振状態を説明するフェーザ図である。

[図8]非共振状態および共振状態における共振電流を示す図である。

[図9] $f_c > f_{TX}$ の場合の、自動チューニング補助回路による疑似共振状態を説明するフェーザ図である。

[図10]第1の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図11]第2の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図12]第3の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図13]図13(a)、(b)は、それぞれ第4、第5の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図14]第1の実施の形態に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

[図15]図14のワイヤレス受電装置の等価回路図である。

[図16]図14のワイヤレス受電装置の動作を示す波形図である。

[図17]図17(a)、(b)は、第1、第2の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

[図18]第3の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

[図19]図19(a)、(b)はそれぞれ、第4、第5の変形例に係るワイヤ

レス受電装置の構成を示す回路図である。

[図20]第1の実施の形態に係るワイヤレス送電システムの構成例を示す回路図である。

[図21]図20のワイヤレス送電システムの動作を示す波形図である。

[図22]第2の実施の形態に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図23]図22のワイヤレス給電装置の動作を示す波形図である。

[図24]第1の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図25]図25(a)～(c)は、それぞれ第2～第4の変形例に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

[図26]第2の実施の形態に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

[図27]図26のワイヤレス受電装置の動作を示す波形図である。

[図28]図28(a)、(b)は、第2、第3の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図であり、図28(c)、(d)は、負荷の構成例を示す回路図である。

[図29]第3の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

発明を実施するための形態

[0040] 以下、本発明を好適な実施の形態をもとに図面を参照しながら説明する。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。また、実施の形態は、発明を限定するものではなく例示であって、実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

[0041] 本明細書において、「部材Aが、部材Bと接続された状態」、あるいは「部材Aが、部材Bとカップリングされた状態」とは、部材Aと部材Bが物理的に直接的に接続される場合のほか、部材Aと部材Bが、それらの電氣的な接続状態に実質的な影響を及ぼさない、あるいはそれらの結合により奏され

る機能や効果を損なわせない、その他の部材を介して間接的に接続される場合も含む。

同様に、「部材Cが、部材Aと部材Bの間に設けられた状態」とは、部材Aと部材C、あるいは部材Bと部材Cが直接的に接続される場合のほか、それらの電氣的な接続状態に実質的な影響を及ぼさない、あるいはそれらの結合により奏される機能や効果を損なわせない、その他の部材を介して間接的に接続される場合も含む。

[0042] (第1の実施の形態)

(ワイヤレス給電装置)

図2は、第1の実施の形態に係るワイヤレス給電装置2の構成を示す回路図である。ワイヤレス給電装置2は、ワイヤレス受電装置(不図示)に対して電力信号S1を送出する。電力信号S1は、電波になっていない電磁波の近傍界(電界、磁界、あるいは電磁界)が利用される。

[0043] ワイヤレス給電装置2は、電源10、送信アンテナ20、自動チューニング補助回路30、第1制御部40を備える。

[0044] 送信アンテナ20は、その第1端21とその第2端22の間に設けられた送信コイル L_{TX} を含む。共振用キャパシタ C_{TX} は、送信コイル L_{TX} と直列に設けられる。共振用キャパシタ C_{TX} と送信コイル L_{TX} は入れかえてもよい。

[0045] 自動チューニング補助回路30は、送信アンテナ20と直列にカップリングされる。電源10は、送信アンテナ20および自動チューニング補助回路30の両端間に、所定の送信周波数 f_{TX} を有する交流の駆動電圧 V_{DRV} を印加する。駆動電圧 V_{DRV} は、矩形波、台形波、正弦波をはじめとする任意の交流波形であって構わない。本実施の形態では、駆動電圧 V_{DRV} は、第1電圧レベル(電源電圧 V_{DD})と第2電圧レベル(接地電圧 $V_{GND}=0V$)でスイングする矩形波であるものとする。

[0046] 電源10は、直流電源12、第1ハイサイドスイッチSWH1、第1ローサイドスイッチSWL1を含む。直流電源12は、直流の電源電圧 V_{DD} を生成する。第1ハイサイドスイッチSWH1および第1ローサイドスイッチS

WL 1 は、直流電源 12 の出力端子と固定電圧端子（接地端子）の間に順に直列に設けられる。第 1 制御部 40 は、第 1 ハイサイドスイッチ SWH 1 および第 1 ローサイドスイッチ SWL 1 を、送信周波数 f_{TX} で相補的にスイッチングする。

[0047] 自動チューニング補助回路 30 は、第 1 端子 31、第 2 端子 32、第 1 スイッチ SW1、第 2 スイッチ SW2、第 1 補助キャパシタ C_{A1} を備える。

[0048] 第 1 スイッチ SW1 および第 1 補助キャパシタ C_{A1} は、第 1 端子 31 および第 2 端子 32 の間に直列に設けられる。第 1 スイッチ SW1 と第 1 補助キャパシタ C_{A1} は入れかえてもよい。第 2 スイッチ SW2 は、第 1 端子 31 と第 2 端子 32 の間に、第 1 スイッチ SW1 および第 1 補助キャパシタ C_{A1} に対して並列に設けられる。第 1 補助キャパシタ C_{A1} の容量値は、共振用キャパシタ C_{TX} に比べて十分に大きいことが望ましい。

[0049] 第 1 制御部 40 は、第 1 スイッチ SW1 および第 2 スイッチ SW2 を、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数 f_{TX} で、かつ駆動電圧 V_{DRV} に対してある位相差 θ_{TX} で相補的にスイッチングする。好ましくは位相差 θ_{TX} は、 $+90^\circ$ もしくは -90° (270°) 付近であってもよい。すなわち第 1 制御部 40 の一部は、自動チューニング補助回路 30 を構成する。

[0050] 第 1 スイッチ SW1、第 2 スイッチ SW2 は、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、バイポーラトランジスタ等を用いて構成できる。図 3 (a)、(b) は、MOSFET を用いたスイッチの構成例を示す図である。

[0051] 図 3 (a) は、N チャンネル、図 3 (b) は、P チャンネルの MOSFET を用いた構成を示す。MOSFET のバックゲートをソースと接続すると、バックゲートとドレイン間のボディダイオードがゲート電圧によらずに導通状態となる。したがって、MOSFET を単体で用いたスイッチでは、片方向に対する電流を阻止することができない。本明細書においてこのようなスイッチを片方向スイッチという。

[0052] 図3(c)～(f)のスイッチは、2つのNチャンネルMOSFET、もしくは2つのPチャンネルMOSFETが、それらのボディダイオードが逆向きとなるように接続される（バクトゥバック接続）。図3(c)～(f)では、オフ状態において、いずれの方向にも電流が流れない。本明細書においてこのようなスイッチを、双方向スイッチという。

[0053] 本実施の形態において、各スイッチSW1、SW2は、片方向スイッチ、両方向スイッチのいずれでも構成することができる。なお、片方向スイッチを用いる場合、それらのスイッチングの位相に注意を払う必要がある。これについては後述する。

[0054] 以上がワイヤレス給電装置2の構成である。続いてその動作を説明する。

[0055] スイッチSW1、SW2はそれぞれ、オフ状態においていずれの方向にも電流を流さない双方向スイッチであるものとする。

[0056] 図4は、図2のワイヤレス給電装置2の動作を示す波形図である。図4は、上から順に、第1ハイサイドスイッチSWH1、第1ローサイドスイッチSWL1、駆動電圧 V_{DRV} 、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2、第1補助キャパシタ C_{A1} の電圧 V_{CA1} 、第1端子31の電圧 V_A 、送信アンテナ20に流れる共振電流 I_{TX} 、送信コイル L_{TX} と共振用キャパシタ C_{TX} の両端間の共振電圧 V_{TX} を示す。スイッチを示す波形は、ハイレベルがオン状態を、ローレベルがオフ状態を示す。また共振電流 I_{TX} および共振電圧 V_{TX} は、自動チューニング補助回路30を動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態における波形を示す。

[0057] 図4に示すように、第1ハイサイドスイッチSWH1、第1ローサイドスイッチSWL1を相補的にスイッチングすることにより、矩形波の駆動電圧 V_{DRV} が生成され、送信アンテナ20および自動チューニング補助回路30の両端間に印加される。第1制御部40は、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数で、かつ駆動電圧 V_{DRV} に対して θ_{TX} ($=90^\circ$) 遅れた位相で、第1スイッチSW1および第2スイッチSW2を相補的にスイッチングする。共振電流 I_{TX} は、第1スイッチSW1のオン時間 T_{ON1} において第1補助キャパシタ C_{A1} に流

れ、第2スイッチSW2のオン時間 T_{ON2} において、第2スイッチSW2を介して接地に流れる。つまり、第1補助キャパシタ C_{A1} は、共振電流 I_{TX} によって充放電され、その結果、第1補助キャパシタ C_{A1} には、キャパシタ電圧 V_{CA1} が発生する。

[0058] 自動チューニング補助回路30は、送信アンテナ20の第2端22に補正電圧 V_A を印加する。補正電圧 V_A は、第1スイッチSW1がオンの期間 T_{ON1} において、第1補助キャパシタ電圧 V_{CA1} を取り、第2スイッチSW2がオンの期間 T_{ON2} において、接地電圧 V_{GND} をとる。自動チューニング補助回路30は、補正電圧 V_A を送信アンテナ20に印加する補正電源と把握することができる。図5は、図2のワイヤレス給電装置2の等価回路図である。

[0059] 図6(a)は、自動チューニング補助回路30を動作させない状態、図6(b)は、自動チューニング補助回路30を動作させたときの波形図である。

はじめに図6(a)を参照し、自動チューニング補助回路30を動作させない状態、すなわち第1スイッチSW1をオフで固定し、第2スイッチSW2をオンで固定した状態について説明する。これは、補正電圧 V_A が接地電圧 V_{GND} に固定される状態を示す。

送信アンテナ20のインピーダンス Z は式(1)で与えられ、その共振周波数 f_c は式(2)で与えられる。なお、ここでは抵抗成分を無視しているが、実際の回路には直列抵抗が寄与することは言うまでもない。

$$Z = j\omega L_{TX} + 1 / (j\omega C_{TX}) \quad \cdots (1)$$

$$f_c = 1 / (2\pi\sqrt{L_{TX} \cdot C_{TX}}) \quad \cdots (2)$$

[0060] 送信アンテナ20は、駆動電圧 V_{DRV} の周波数 f_{TX} が共振周波数 f_c より高い($f_{TX} > f_c$)とき誘導性となり、送信アンテナ20に流れる共振電流 I_{TX} の位相は、駆動電圧 V_{DRV} の位相に対して遅れる。反対に、周波数 f_{TX} が共振周波数 f_c より低い($f_{TX} < f_c$)とき容量性となり、共振電流 I_{TX} の位相は、駆動電圧 V_{DRV} に対して進む。

[0061] 図6(a)は、 $f_c > f_{TX}$ の状態を示しており、共振電流 I_{TX} の位相は、駆

動電圧 V_{DRV} に対して位相差 ϕ 進んでいる。 ϕ が 90° でないのは、共振回路に直列の抵抗成分（不図示）が存在するためである。非共振状態ではインピーダンス Z が高くなるため、共振電流 I_{TX} の振幅が小さくなる。この状態では大きな電力を伝送することはできない。

[0062] 続いて、図 6 (b) を参照し、自動チューニング補助回路 30 を動作させたときの動作を説明する。

[0063] 自動チューニング補助回路 30 を動作させると、送信アンテナ 20 には駆動電圧 V_{DRV} に対して $\theta_{TX} = 90^\circ$ 遅れた位相の補正電圧 V_A が印加される。その結果、共振電流 I_{TX} の位相が駆動電圧 V_{DRV} の位相と一致し、擬似的な共振状態となる。これにより、共振電流 I_{TX} の振幅は、非共振状態よりも大きくなる。

[0064] 図 7 は、 $f_c < f_{TX}$ の場合の、自動チューニング補助回路 30 による疑似共振状態を説明するフェーザ図（ベクトル図）である。

駆動電圧 V_{DRV} の位相は 0° 、補正電圧 V_A の位相は $\theta_{TX} = 90^\circ$ である。 $f_c < f_{TX}$ において、電流の位相は、電圧に対して位相差 ϕ 遅れる。したがって駆動電圧 V_{DRV} と電流成分 I_{DRV} の位相差は ϕ であり、補正電圧 V_A と電流成分 I_A の位相差も ϕ である。

[0065] 「重ねの理」によって、共振電流 I_{TX} は、駆動電圧 V_{DRV} によって誘起される電流成分 I_{DRV} と、補正電圧 V_A によって誘起される電流成分 I_A の和で与えられる。駆動電圧 V_{DRV} と補正電圧 V_A は位相差 $\theta_{TX} (= 90^\circ)$ を有するため、電流成分 I_{DRV} と I_A の位相差も 90° となる。補正電圧 V_A の振幅、言い換えれば電流成分 I_A の振幅を最適化すれば、2 つの電流成分 I_{DRV} と I_A の合成電流、すなわち共振電流 I_{TX} の位相を、駆動電圧 V_{DRV} の位相 (0°) と一致させることができ、疑似共振状態が実現できることが分かる。

[0066] 実施の形態に係るワイヤレス給電装置 2 の優れた利点のひとつは、疑似共振状態を満足する補正電圧 V_A を自動的に生成できる点である。

図 8 は、非共振状態および共振状態における共振電流 I_{TX} を示す図である。波形 (1) は、非共振状態における共振電流 I_{TX} を示す。スイッチ SW 1

がオンの期間 T_{ON1} において、第1補助キャパシタ C_{A1} は、共振電流 I_{TX} によって充放電される。具体的には、第1補助キャパシタ C_{A1} は、共振電流 I_{TX} が正の期間に充電され、負の期間に放電される。その結果、正の期間が長ければキャパシタ電圧 V_{CA1} は増大し、負の期間が長ければキャパシタ電圧 V_{CA1} は低下する。

[0067] あるサイクルのオン時間 T_{ON1} において、キャパシタ電圧 V_{CA1} が増大する。そして、増大したキャパシタ電圧 V_{CA1} に応じた補正電圧 V_A が送信アンテナ20に印加される。そうすると、次のサイクルでは、共振電流 I_{TX} の位相が前のサイクルより進む。これを繰り返すと、キャパシタ電圧 V_{CA1} がサイクル毎に増加しながら、共振電流 I_{TX} の位相が徐々に進んでいき、駆動電圧 V_{DRV} の位相と一致するポイント（共振点）までシフトしていく。共振電流 I_{TX} の位相が進みすぎると、反対に第1補助キャパシタ C_{A1} の放電電流の方が大きくなり、キャパシタ電圧 V_{CA1} が低下する方向にフィードバックがかかり、共振点に引き戻される。共振点では1サイクルでの第1補助キャパシタ C_{A1} の充電電流と放電電流がバランスし、キャパシタ電圧 V_{CA1} が平衡状態となり、擬似的な共振状態が持続する。このように、図2のワイヤレス給電装置2によれば、疑似共振状態を生ずるために必要な補正電圧 V_A を自動的に生成できる。

[0068] 以上がワイヤレス給電装置2の動作である。

このようにワイヤレス給電装置2によれば、送信アンテナ20の共振周波数 f_0 を調節することなく、疑似共振状態を実現するように回路の状態を自動的にチューニングすることができる。ワイヤレス送電では、ワイヤレス給電装置2とワイヤレス受電装置4の位置関係によって、共振周波数が時々刻々と変化するが、ワイヤレス給電装置2によれば、その変化に高速に追従することができ、高効率な電力伝送が可能となる。

[0069] またワイヤレス給電で大電力を伝送しようとする、共振用キャパシタ C_{TX} の両端間の電圧は非常に大きくなるため、バリコン（バリキャップ）の利用は制約される。ワイヤレス給電装置2によれば共振用キャパシタ C_{TX} の容量

値を調節する必要がないため、バリコン等を使用する必要がないという利点もある。

[0070] ここでは、第1スイッチSW1を、第1ハイサイドスイッチSWH1の位相に対して $\theta_{TX} = 90^\circ$ 遅れた位相でスイッチングさせる場合を説明したが、位相差 θ_{TX} は 90° である必要はなく、 270° (-90°) であってもよい。この場合、キャパシタ電圧 V_{CA1} が負電圧となるように自動的に調節されるからである。

[0071] すなわち、 $f_o < f_{TX}$ の場合、 $\theta_{TX} = 90^\circ$ または 270° とすることにより、疑似共振状態を実現できる。

位相差 θ_{TX} は、 90° もしくは 270° から外れていてもよい。この場合、図7に示すベクトル図において、電流成分 I_{DRV} と I_A の位相差 θ_{TX} が 90° ではなくなるが、この場合でも、それらを合成した共振電流 I_{TX} の位相が 0° となるように、キャパシタ電圧 V_{CA1} が自動的に調節される。ただし、位相差 θ_{TX} が 90° もしくは 270° に近いほど、電流成分 I_A の振幅、言い換えればキャパシタ電圧 V_{CA1} の絶対値が小さくできるという利点がある。

[0072] なお、 $f_o < f_{TX}$ の場合に $\theta_{TX} = 270^\circ$ とできるのは、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2を双方向スイッチを用いて構成した場合に限られる。第1スイッチSW1、第2スイッチSW2が片方向スイッチである場合には、 $\theta_{TX} = 270^\circ$ とすることはできない。この場合、ボディダイオードに電流が流れてしまうからである。片方向スイッチを用いる場合、逆導通素子であるボディダイオードに電流が流れないような位相で、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2をスイッチングさせる必要がある。

[0073] ワイヤレス給電装置2は、 $f_o < f_{TX}$ の場合のみでなく、 $f_o > f_{TX}$ の場合においても、自動的に疑似共振状態を実現できる。この場合、 $\theta_{TX} = 270^\circ$ (-90°) とすることが好ましい。

[0074] 図9は、 $f_o > f_{TX}$ の場合の、自動チューニング補助回路30による疑似共振状態を説明するフェーザ図である。駆動電圧 V_{DRV} の位相を 0° 、補正電圧 V_A の位相を $\theta_{TX} = 270^\circ$ (-90°) としている。 $f_o > f_{TX}$ において、

電流の位相は電圧に対して進むが、この場合であっても、疑似共振状態が実現できる。

[0075] なお $f_c > f_{TX}$ において、位相差 θ_{TX} を 90° 付近としてもよい。この場合、疑似共振状態が得られるように、自動的にキャパシタ電圧 V_{CA1} が負電圧となる。

[0076] ただし、 $f_c < f_{TX}$ の場合に $\theta_{TX} = 90^\circ$ とできるのは、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2を双方向スイッチを用いて構成した場合に限られる。第1スイッチSW1、第2スイッチSW2が片方向スイッチである場合には、 $\theta_{TX} = 90^\circ$ とすることはできない。上述したように、ボディダイオードに電流が流れてしまうからである。

[0077] 続いて、ワイヤレス給電装置2の変形例を説明する。各変形例は、任意の他の変形例と組み合わせることができ、このような組み合わせも本発明の範囲に含まれる。

[0078] これまでの説明では、第1制御部40が、自動チューニング補助回路30を構成する複数のスイッチを、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数 f_{TX} で駆動する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。第1制御部40は、駆動電圧 V_{DRV} の奇数倍、もしくは奇数分の1倍の周波数でスイッチをスイッチングすることによっても、擬似的な共振状態を実現できる。

[0079] 図10は、第1の変形例に係るワイヤレス給電装置2aの構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路30aは、第1端子31と第2端子32の間に、第2スイッチSW2と直列に設けられた第2補助キャパシタ C_{A2} を備える。

[0080] この変形例において、補正電圧 V_A は、第1スイッチSW1のオン時間 T_{ON1} においてキャパシタ電圧 V_{CA1} と等しくなり、第2スイッチSW2のオン時間 T_{ON2} においてキャパシタ電圧 V_{CA2} と等しくなる。

[0081] ワイヤレス給電装置2aによれば、キャパシタ電圧 V_{CA1} 、 V_{CA2} を最適化されることにより、 $f_{TX} > f_c$ 、 $f_{TX} < f_c$ いずれの場合も疑似共振状態を実現できる。

[0082] 図 1 1 は、第 2 の変形例に係るワイヤレス給電装置 2 b の構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路 3 0 b は、充電回路 3 4 および検出抵抗 R_s を備える。検出電流 R_s は、共振電流 I_{TX} の経路上に設けられる。検出抵抗 R_s には、共振電流 I_{TX} に比例した検出電圧 V_s が発生する。充電回路 3 4 は、検出電圧 V_s にもとづき、第 1 補助キャパシタ C_{A1} を、疑似共振状態となるようなレベルに充電する。上述のように、キャパシタ電圧 V_{CA1} は自動的に最適なレベルとなるが、充電回路 3 4 を設けることにより、より短い時間で、疑似共振状態とすることができる。

[0083] 図 1 2 は、第 3 の変形例に係るワイヤレス給電装置 2 c の構成を示す回路図である。

これまでは電源がハーフブリッジ回路の場合を説明したが、図 1 2 の電源 1 0 c は H ブリッジ回路で構成される。第 2 ハイサイドスイッチ SWH 2 および第 2 ローサイドスイッチ SWL 2 は、直流電源 1 2 の出力端子と固定電圧端子（接地端子）の間に順に直列に設けられる。

[0084] 第 1 制御部 4 0 c は、第 1 ハイサイドスイッチ SWH 1 と第 2 ローサイドスイッチ SWL 2 のペアがオンの状態と、第 2 ハイサイドスイッチ SWH 2 と第 1 ローサイドスイッチ SWL 1 のペアがオンの状態を、交互に繰り返す。

第 1 ハイサイドスイッチ SWH 1 と第 1 ローサイドスイッチ SWL 1 の接続点（第 1 出力端子）OUT 1 と、第 2 ハイサイドスイッチ SWH 2 と第 2 ローサイドスイッチ SWL 2 の接続点（第 2 出力端子）OUT 2 には、互いに逆相の駆動電圧 V_{DRV} 、 $\#V_{DRV}$ が発生する。送信アンテナ 2 0 および自動チューニング補助回路 3 0 c は、第 1 出力端子 OUT 1 と第 2 出力端子 OUT 2 の間に直列にカップリングされる。

[0085] 図 1 2 のワイヤレス給電装置 2 c によっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。

[0086] 図 1 3 (a)、(b) は、それぞれ第 4、第 5 の変形例に係るワイヤレス給電装置 2 d、2 e の構成を示す回路図である。第 1 制御部 4 0 は省略され

る。

図 1 3 (a) のワイヤレス給電装置 2 d において、自動チューニング補助回路 3 0 d は、第 1 トランス T 1 を介して送信アンテナ 2 0 と直列にカップリングされる。具体的には、第 1 トランス T 1 の 2 次巻線 W 2 は第 1 端子 3 1 と第 2 端子 3 2 の間に設けられ、その 1 次巻線 W 1 は、送信アンテナ 2 0 と直列に設けられる。電源 1 0 は、送信アンテナ 2 0 と 1 次巻線 W 1 の両端間に駆動電圧を印加する。

[0087] このワイヤレス給電装置 2 d では、第 1 トランス T 1 を介して送信アンテナ 2 0 と自動チューニング補助回路 3 0 d の間のエネルギーの授受が行われる。この構成によっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。

[0088] 図 1 3 (b) では、電源 1 0 が第 2 トランス T 2 を介して送信アンテナ 2 0 および自動チューニング補助回路 3 0 d の両端間に駆動電圧 V_{DRV} を印加する。具体的には第 2 トランス T 2 の 2 次巻線 W 2 は、送信アンテナ 2 0 と直列に設けられる。電源 1 0 は、第 2 トランス T 2 の 1 次巻線 W 1 の両端に駆動電圧 V_{DRV} を印加する。

[0089] このワイヤレス給電装置 2 e では、駆動電圧 V_{DRV} は、第 2 トランス T 2 を介して送信アンテナ 2 0 と自動チューニング補助回路 3 0 d の両端間に印加される。この構成によっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。ワイヤレス給電装置 2 e において、第 1 トランス T 1 を省略してもよい。図 1 3 (a)、(b) における電源 1 0 は、Hブリッジ回路、ハーフブリッジ回路、その他の電源のいずれであってもよい。

[0090] (ワイヤレス受電装置)

上述した自動チューニング補助回路は、ワイヤレス受電装置にも利用することができる。以下では、ワイヤレス受電装置について説明する。

[0091] 図 1 4 は、第 1 の実施の形態に係るワイヤレス受電装置 4 の構成を示す回路図である。ワイヤレス受電装置 4 は、上述の、あるいは全く別構成のワイヤレス給電装置から送信される電力信号 S 1 を受ける。電力信号 S 1 は、電

波になっていない電磁波の近傍界（電界、磁界、あるいは電磁界）が利用される。

[0092] ワイヤレス受電装置 4 は、受信アンテナ 5 0、自動チューニング補助回路 6 0 および電力を供給すべき負荷 7 0 を備える。負荷 7 0 には、図示しない整流回路、検波回路などが内蔵されてもよい。

[0093] 受信アンテナ 5 0 は、第 1 端 5 1 と第 2 端 5 2 の間に直列に設けられた受信コイル L_{RX} および共振用キャパシタ C_{RX} を含む。

[0094] 自動チューニング補助回路 6 0 は、上述の自動チューニング補助回路 3 0 と同様に構成される。具体的には、第 3 スイッチ SW_3 および第 3 補助キャパシタ C_{A3} は、第 1 端子 6 1 と第 2 端子 6 2 の間に直列に設けられる。第 4 スイッチ SW_4 は、第 1 端子 6 1 と第 2 端子 6 2 の間に、第 3 スイッチ SW_3 および第 3 補助キャパシタ C_{A3} と並列に設けられる。

[0095] 第 2 制御部 6 4 は、第 3 スイッチ SW_3 および第 4 スイッチ SW_4 を、電力信号 S_1 と同じ周波数で、かつ送信側においてアンテナに印加される駆動電圧 (V_{DRV}) に対してある位相差 θ_{RX} で相補的にスイッチングする。たとえば $\theta_{RX} = 180^\circ$ または 0° であることが好ましい。

[0096] 自動チューニング補助回路 6 0 は、受信アンテナ 5 0 と直列にカップリングされる。また電力を供給すべき負荷 7 0 は、第 3 補助キャパシタ C_{A3} に接続される。

[0097] 以上がワイヤレス受電装置 4 の構成である。続いてその動作を説明する。

図 1 5 は、図 1 4 のワイヤレス受電装置 4 の等価回路図である。ワイヤレス給電装置 2 における自動チューニング補助回路 3 0 と同様に、自動チューニング補助回路 6 0 は、補正電圧 V_A を受信アンテナ 5 0 に印加する補正電源と把握することができる。補正電圧 V_A は、第 3 スイッチ SW_3 のオン時間 T_{ON3} において、第 3 補助キャパシタ C_{A3} の電圧 V_{CA3} となり、第 4 スイッチ SW_4 のオン時間 T_{ON4} において接地電圧となる。

[0098] 図 1 6 は、図 1 4 のワイヤレス受電装置 4 の動作を示す波形図である。図 1 6 は上から順に、第 3 スイッチ SW_3 、第 4 スイッチ SW_4 、補正電圧 V_A

、受信アンテナ50に流れる共振電流 I_{RX} 、受信コイル L_{RX} と共振用キャパシタ C_{RX} の両端間の共振電圧 V_{RX} を示す。スイッチを示す波形は、ハイレベルがオン状態を、ローレベルがオフ状態を示す。共振電流 I_{RX} および共振電圧 V_{RX} は、実線が自動チューニング補助回路60を動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態（疑似共振状態）における波形を、破線が自動チューニング補助回路60を動作させない非共振状態における波形を示す。

[0099] 第3スイッチSW3および第4スイッチSW4を、ワイヤレス給電装置側の駆動電圧 V_{DRV} に対して 180° または 0° シフトした位相 θ_{RX} で相補的にスイッチングさせることにより、第3補助キャパシタ C_{A3} が充電、または放電される。そして補正電圧 V_A が受信アンテナ50に印加されることにより、共振電流 I_A の位相が、送信側の駆動電圧 V_{DRV} の位相と一致し、疑似共振状態が実現できる。

[0100] 疑似共振状態を実現するためには、第3スイッチSW3および第4スイッチSW4を適切な周波数 f_{TX} および位相 θ_{RX} でスイッチングさせる必要がある。そこでワイヤレス給電装置2からワイヤレス受電装置4に対して、周波数 f_{TX} および位相 θ_{RX} を示すデータを送信してもよい。あるいはワイヤレス受電装置4は、位相 θ_{RX} をスイープし、最適な位相 θ_{RX} を検出してもよい。

[0101] 以上がワイヤレス受電装置4の動作である。

このように図14のワイヤレス受電装置4によれば、共振用キャパシタ C_{RX} の容量値を調節することなく、自動的に共振状態を実現することができる。

[0102] 続いてワイヤレス受電装置4の変形例を説明する。

[0103] これまでの説明では、第2制御部64は、電力信号S1と同じ周波数で、自動チューニング補助回路60を構成する複数のスイッチを駆動する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。第2制御部64は、電力信号S1の奇数倍、もしくは奇数分の1倍の周波数でスイッチをスイッチングすることによっても、擬似的な共振状態を実現できる。

[0104] 図14では、負荷70が第3補助キャパシタ C_{A3} と接続される場合を説明したが、負荷70は別の位置に設けられてもよい。図17(a)、(b)は

、第1、第2の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。図17(a)のワイヤレス受電装置4aにおいて、負荷70aは、受信アンテナ50および自動チューニング補助回路60と直列に設けられる。具体的には負荷70aは受信アンテナ50の第1端51に接続される。

[0105] 図17(b)のワイヤレス受電装置4bは、第3トランスT3を備え、受信アンテナ50と負荷70bは、第3トランスT3によって絶縁される。第3トランスT3の1次巻線W1は、受信アンテナ50と直列に設けられ、2次巻線W2に負荷70bが接続される。

[0106] 図17(a)、(b)に示すように、受信アンテナ50と直列に負荷を接続した場合、負荷のインピーダンスが低い場合には、自動チューニング補助回路60による調整をしなくても、ある程度の電力を取り出すことができるという利点がある。一方で、負荷の抵抗成分によって受信アンテナ50のQ値が低下するため、大電力が取り出しにくくなる。

[0107] 反対に図4のように自動チューニング補助回路60から電力を取り出す場合、負荷70によって受信アンテナ50のQ値が低下しないため、負荷70のインピーダンスが高い場合でも、大電力を取り出すことができる。一方、負荷70のインピーダンスが低すぎる場合、自動チューニング補助回路60の動作が阻害されるという問題がある。

[0108] したがって、負荷をいずれの位置に配置するかは、送電すべき電力や、負荷のインピーダンス等を考慮して決定すればよい。

[0109] 図18は、第3の変形例に係るワイヤレス受電装置4cの構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路60cは、第1端子61と第2端子62の間に第4スイッチSW4と直列に設けられた第4補助キャパシタ C_{A4} をさらに備える。負荷70の位置は限定されない。

[0110] この変形例において、補正電圧 V_A は、第3スイッチSW3のオン時間 T_{ON3} においてキャパシタ電圧 V_{CA3} と等しくなり、第4スイッチSW4のオン時間 T_{ON4} においてキャパシタ電圧 V_{CA4} と等しくなる。このワイヤレス受電装置4cによれば、 $f_{TX} > f_c$ 、 $f_{TX} < f_c$ それぞれの状態において疑似共振状

態となるように、キャパシタ電圧 V_{CA1} 、 V_{CA2} を最適化することができる。

[0111] ワイヤレス受電装置において、第3スイッチSW3、第4スイッチSW4は、片方向スイッチ、双方向スイッチのいずれで構成してもよい。片方向スイッチで構成する場合、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相で、第3スイッチSW3、第4スイッチSW4をスイッチングする必要がある。

[0112] 図19(a)、(b)はそれぞれ、第4、第5の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。第2制御部64は省略される。

図19(a)のワイヤレス受電装置4dにおいて、自動チューニング補助回路60dは、第4トランスT4を介して受信アンテナ50と直列にカップリングされる。具体的には、第4トランスT4の2次巻線W2は第1端子61と第2端子62の間に設けられ、その1次巻線W1は、受信アンテナ50と直列に設けられる。

[0113] このワイヤレス受電装置4dでは、第4トランスT4を介して受信アンテナ50と自動チューニング補助回路60dの間のエネルギーの授受が行われる。この構成によっても、これまで説明したワイヤレス受電装置と同様の効果を得ることができる。

[0114] 図19(b)では、負荷70が第5トランスT5を介して受信アンテナ50および自動チューニング補助回路60dとカップリングされる。具体的には第5トランスT5の1次巻線W1は、受信アンテナ50と直列に接続される。負荷70は、第5トランスT5の2次巻線W2の両端に接続される。

[0115] この構成によっても、これまで説明したワイヤレス受電装置と同様の効果を得ることができる。ワイヤレス受電装置4eにおいて、第4トランスT4を省略してもよい。図19(a)において負荷70を第3補助キャパシタ C_{A3} とカップリングしてもよい。あるいは図19(b)において負荷70を第3補助キャパシタ C_{A3} と第5トランスT5を介してカップリングしてもよい。

[0116] (ワイヤレス送電システム)

上述のワイヤレス給電装置とワイヤレス受電装置を組み合わせることにより、ワイヤレス送電システムを実現できる。

[0117] 図20は、第1の実施の形態に係るワイヤレス送電システムの構成例を示す回路図である。ワイヤレス送電システム1は、ワイヤレス給電装置2とワイヤレス受電装置4を備える。

[0118] 負荷70は、負荷回路76に加えて、整流回路72およびスイッチングレギュレータ74を備える。整流回路72は同期検波回路であり、平滑用キャパシタC3、第3ハイサイドスイッチSWH3、第3ローサイドスイッチSWL3を備える。

[0119] スwitchングレギュレータ74は、昇降圧コンバータであり、負荷回路76に対して最大電力を供給できるように制御される。スイッチングレギュレータ74の構成および動作は公知であるため、ここでの説明は省略する。

[0120] 以上がワイヤレス送電システム1の構成である。図21は、図20のワイヤレス送電システム1の動作を示す波形図である。

[0121] ワイヤレス給電装置2において、第1スイッチSW1および第2スイッチSW2は、駆動電圧 V_{DRV} に対して $\theta_{TX} = 90^\circ$ 遅れた位相で駆動される。その結果、ワイヤレス給電装置2において疑似共振状態が成立する。

[0122] ワイヤレス受電装置4においては、ワイヤレス給電装置2側の駆動電圧 V_{DRV} に対して $\theta_{RX} = 180^\circ$ 遅れた位相で、第3スイッチSW3および第4スイッチSW4が駆動される。また第3スイッチSW3は、第1スイッチSW1に対して 90° 遅れた位相で駆動される。その結果、ワイヤレス受電装置4においても疑似共振状態が成立する。

[0123] 整流回路72の第3ハイサイドスイッチSWH3および第3ローサイドスイッチSWL3は、第3スイッチSW3および第4スイッチSW4に対して 90° 遅れた位相で駆動される。その結果、平滑用キャパシタC3に直流電圧が発生する。この直流電圧は、スイッチングレギュレータ74によって負荷回路76に最適な電圧レベルに変換される。

[0124] 以上がワイヤレス送電システム1の動作である。このようにワイヤレス送電システム1によれば、ワイヤレス給電装置2、ワイヤレス受電装置4それぞれに自動チューニング補助回路を設けることにより、負荷70に対して最

大電力を送信することが可能となる。

[0125] 当然ながら、変形例を含めた任意のワイヤレス給電装置 2 と、任意のワイヤレス受電装置 4 が組み合わせ可能であることは言うまでもない。

[0126] 図 20 では、ワイヤレス給電装置 2、ワイヤレス受電装置 4 の両方に自動チューニング補助回路を実装する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。

ワイヤレス給電装置 2 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス受電装置は、従来のように共振用キャパシタ C_{RX} の調節を行ってもよい。

反対にワイヤレス受電装置 4 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス給電装置 2 は、従来のように共振用キャパシタ C_{TX} の調節を行ってもよい。

[0127] さらに、ワイヤレス給電装置 2 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス受電装置 4 は、一切の調節機構を有さなくてもよい。あるいはワイヤレス受電装置 4 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス給電装置 2 は、一切の調節機構を有さなくてもよい。

これらの場合、単一の自動チューニング補助回路によって、電源 10 と負荷 70 の間のインピーダンスマッチングがとれるようにチューニングされ、高効率な電力伝送が可能となる。この場合に、自動チューニング補助回路のスイッチングの位相 θ_{TX} (θ_{RX}) の最適値は 90° もしくは 270° (180° もしくは 0°) から外れることに留意すべきである。

[0128] 以上、本発明について、第 1 の実施の形態をもとに説明した。この実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。以下、こうした変形例について説明する。

[0129] 自動チューニング補助回路 30 を備えるワイヤレス給電装置 2 においては、共振用キャパシタ C_{TX} を省略しても疑似共振状態が実現できる場合がある。この場合、共振用キャパシタ C_{TX} を省略してもよい。同様に自動チューニ

ング補助回路 60 を備えるワイヤレス受電装置 4 において、共振用キャパシタ C_{RX} を省略してもよい。

[0130] ワイヤレス給電装置 2 は、所定の規則（暗号コード）に従い、駆動電圧 $V_{D_{RV}}$ の周波数 f_{TX} および位相の少なくとも一方を変化させ、電力信号 S_1 を暗号化する。暗号コードを知っているワイヤレス受電装置 4 は、その暗号コードにもとづき、自動チューニング補助回路 60 のスイッチング周波数、位相を制御する。その結果、電力信号 S_1 が暗号化されている場合でも、それを復号して電力供給を受けることができる。暗号コードを知らないワイヤレス受電装置は、自動チューニング補助回路 60 のスイッチを適切に制御できないため、電力を受信することができなくなる。ワイヤレス電力伝送では、悪意の利用者による盗電が問題となりうるが、自動チューニング補助回路を利用することにより、この問題を解決することができる。

あるいは、単一のワイヤレス給電装置 2 が複数のワイヤレス受電装置 4 に給電する際に、自動チューニング補助回路を利用することにより端末毎の給電量を制御できる。

[0131] （第 2 の実施の形態）

第 1 の実施の形態では、2 つのスイッチ SW_1 、 SW_2 を含む自動チューニング補助回路を説明した。第 2 の実施の形態における自動チューニング補助回路は、4 つのスイッチを含んで構成される。自動チューニング補助回路 80 を除くブロックの構成については、第 1 の実施の形態と同様である。また、第 1 の実施の形態で説明したさまざまな変形例は、第 2 の実施の形態においても有効である。

[0132] （ワイヤレス給電装置）

図 22 は、第 2 の実施の形態に係るワイヤレス給電装置 2 の構成を示す回路図である。ワイヤレス給電装置 2 は、ワイヤレス受電装置（不図示）に対して電力信号 S_1 を送出する。電力信号 S_1 は、電波になっていない電磁波の近傍界（電界、磁界、あるいは電磁界）が利用される。

[0133] ワイヤレス給電装置 6 は、電源 10、送信アンテナ 20、自動チューニン

グ補助回路 80、第 1 制御部 40 を備える。

[0134] 送信アンテナ 20 は、その第 1 端 21 とその第 2 端 22 の間に設けられた送信コイル L_{TX} を含む。共振用キャパシタ C_{TX} は、送信コイル L_{TX} と直列に設けられる。共振用キャパシタ C_{TX} と送信コイル L_{TX} は入れかえてもよい。

[0135] 自動チューニング補助回路 80 は、送信アンテナ 20 と直列にカップリングされる。電源 10 は、図 2 と同様にハーフブリッジ回路で構成され、送信アンテナ 20 および自動チューニング補助回路 80 の両端間に、所定の送信周波数 f_{TX} を有する交流の駆動電圧 V_{DRV} を印加する。駆動電圧 V_{DRV} は、矩形波、台形波、正弦波をはじめとする任意の交流波形であって構わない。本実施の形態では、駆動電圧 V_{DRV} は、第 1 電圧レベル（電源電圧 V_{DD} ）と第 2 電圧レベル（接地電圧 $V_{GND} = 0V$ ）でスイングする矩形波であるものとする。

[0136] 電源 10 は、図 2 の電源 10 と同様にハーフブリッジ回路で構成される。第 1 制御部 40 は、第 1 ハイサイドスイッチ $SWH1$ および第 1 ローサイドスイッチ $SWL1$ を、送信周波数 f_{TX} で相補的にスイッチングする。

[0137] 第 2 の実施の形態において、自動チューニング補助回路 80 は、第 1 端子 81、第 2 端子 82、第 1 スイッチ $SWc1$ ～第 4 スイッチ $SWc4$ 、第 1 補助キャパシタ C_{A5} を備える。

[0138] 第 1 スイッチ $SWc1$ および第 2 スイッチ $SWc2$ は、第 1 端子 81 と第 2 端子 82 の間に順に直列に設けられる。第 3 スイッチ $SWc3$ および第 4 スイッチ $SWc4$ は、第 1 端子 81 と第 2 端子 82 の間に順に直列に、かつ第 1 スイッチ $SWc1$ および第 2 スイッチ $SWc2$ に対して並列に設けられる。第 1 補助キャパシタ C_{A5} は、第 1 スイッチ $SWc1$ と第 2 スイッチ $SWc2$ の接続点 $N1$ と、第 3 スイッチ $SWc3$ と第 4 スイッチ $SWc4$ の接続点 $N2$ の間に設けられる。第 1 補助キャパシタ C_{A5} の容量値は、共振用キャパシタ C_{TX} に比べて十分に大きいことが望ましい。

[0139] 第 1 制御部 40 は、第 1 スイッチ $SWc1$ ～第 4 スイッチ $SWc4$ を、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数 f_{TX} で、かつ駆動電圧 V_{DRV} に対してある位相差 θ

T_X でスイッチングする。好ましくは位相差 θ_{TX} は、 $+90^\circ$ もしくは -90° (270°) 付近であってもよい。すなわち第1制御部40の一部は、自動チューニング補助回路80を構成する。

[0140] 第1の実施の形態と同様に、第1スイッチ $SWc1$ ～第4スイッチ $SWc4$ は、双方向スイッチ、あるいは片方向スイッチのいずれかでも構成できる。片方向スイッチを用いる場合、それらのスイッチングの位相に注意を払う必要があることも、すでに説明した通りである。

[0141] 以上がワイヤレス給電装置6の構成である。続いてその動作を説明する。

[0142] 図23は、図22のワイヤレス給電装置6の動作を示す波形図である。図23は、上から順に、第1ハイサイドスイッチ $SWH1$ 、第1ローサイドスイッチ $SWL1$ 、駆動電圧 V_{DRV} 、第1スイッチ $SWc1$ 、第2スイッチ $SWc2$ 、第3スイッチ $SWc3$ 、第4スイッチ $SWc4$ 、第1端子81に生ずる補正電圧 V_A 、送信アンテナ20に流れる共振電流 I_{TX} 、送信コイル L_{TX} と共振用キャパシタ C_{TX} の両端間の共振電圧 V_{TX} を示す。スイッチを示す波形は、ハイレベルがオン状態を、ローレベルがオフ状態を示す。また共振電流 I_{TX} および共振電圧 V_{TX} は、自動チューニング補助回路30を動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態における波形を示す。

[0143] 図23に示すように、第1ハイサイドスイッチ $SWH1$ 、第1ローサイドスイッチ $SWL1$ を相補的にスイッチングすることにより、矩形波の駆動電圧 V_{DRV} が送信アンテナ20および自動チューニング補助回路30の両端間に印加される。第1制御部40は、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数で、かつ駆動電圧 V_{DRV} に対して θ_{TX} ($=90^\circ$) 遅れた位相で、第1スイッチ $SWc1$ および第4スイッチ $SWc4$ を含む第1のペアP1を駆動し、第1のペアP1と相補的に、すなわち 180° ずれた位相で、第2スイッチ $SWc2$ および第3スイッチ $SWc3$ を含む第2のペアP2を駆動する。

[0144] 共振電流 I_{TX} は、第1のペアP1のオン時間 T_{ON1} において、第1スイッチ $SWc1$ 、第1補助キャパシタ C_{A5} 、第4スイッチ $SWc4$ を含む経路に流れ、第2のペアP2のオン時間 T_{ON2} において、第3スイッチ $SWc3$ 、第1

補助キャパシタ C_{A5} 、第2スイッチ $SWc2$ を含む経路に流れる。

[0145] つまり、第1補助キャパシタ C_{A5} は、共振電流 I_{TX} によって充放電され、その結果、第1補助キャパシタ C_{A5} には、キャパシタ電圧 V_{CA5} が発生する。

[0146] 自動チューニング補助回路80は、送信アンテナ20の第2端22に補正電圧 V_A を印加する。補正電圧 V_A は、第1のペアP1がオンの期間 T_{ON1} において第1の極性を取り、第2のペアP2がオンの期間 T_{ON2} において第2の極性をとる。自動チューニング補助回路80は、補正電圧 V_A を送信アンテナ20に印加する補正電源と把握することができる。すなわち、ワイヤレス給電装置6の等価回路は、図5の等価回路と同等とみなすことができ、その動作原理も同様であることがわかる。

[0147] すなわち自動チューニング補助回路80を動作させると、送信アンテナ20に対して、駆動電圧 V_{DRV} に対して $\theta_{TX} = 90^\circ$ 遅れた位相の補正電圧 V_A が印加される。その結果、共振電流 I_{TX} の位相が駆動電圧 V_{DRV} の位相と一致し、擬似的な共振状態となる。これにより、共振電流 I_{TX} の振幅は、非共振状態よりも大きくなる。これは、図7、図9のフェーザ図に示される通りである。

[0148] 第2の実施の形態における自動チューニング補助回路80の動作は、第1の実施の形態において図8を参照して説明した通りであり、疑似共振状態を満足する補正電圧 V_A を自動的に生成することができる。

[0149] 以上がワイヤレス給電装置6の動作である。

このようにワイヤレス給電装置6によれば、送信アンテナ20の共振周波数 f_0 を調節することなく、疑似共振状態を実現するように回路の状態を自動的にチューニングすることができる。ワイヤレス送電では、ワイヤレス給電装置とワイヤレス受電装置の位置関係によって、共振周波数が時々刻々と変化するが、ワイヤレス給電装置6によれば、その変化に高速に追従することができ、高効率な電力伝送が可能となる。

[0150] またワイヤレス給電で大電力を伝送しようとする、共振用キャパシタ C_{Tx} の両端間の電圧は非常に大きくなるため、バリコン（バリキャップ）の利用

は制約される。ワイヤレス給電装置 6 によれば共振用キャパシタ C_{TX} の容量値を調節する必要がないため、バリコン等を使用する必要がないという利点もある。

[0151] ここでは、第 1 スイッチ $SWc1$ 、第 4 スイッチ $SWc4$ を含む第 1 ペアを、第 1 ハイサイドスイッチ $SWH1$ （駆動電圧 V_{DRV} ）の位相に対して $\theta_{TX} = 90^\circ$ 遅れた位相でスイッチングさせる場合を説明したが、位相差 θ_{TX} は 90° である必要はなく、 270° （ -90° ）であってもよい。この場合、キャパシタ電圧 V_{CA1} が逆極性となるように自動的に調節されるからである。ただし、第 1 スイッチ $SWc1 \sim$ 第 4 スイッチ $SWc4$ を片方向スイッチを用いて構成する場合には、逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングする必要がある。具体的には、

$$f_c < f_{TX} \text{ のときに } \theta_{TX} = 90^\circ$$

$$f_c > f_{TX} \text{ のときに } \theta_{TX} = 270^\circ$$

とすることが望ましい。

[0152] また第 1 の実施の形態で説明したように、位相差 θ_{TX} は、 90° もしくは 270° から外れていてもよい。

[0153] 続いて、ワイヤレス給電装置 6 の変形例を説明する。各変形例は、任意の他の変形例と組み合わせることができ、このような組み合わせも本発明の範囲に含まれる。

[0154] これまでの説明では、第 1 制御部 40 が、自動チューニング補助回路 80 を構成する複数のスイッチを、駆動電圧 V_{DRV} と同じ周波数 f_{TX} で駆動する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。第 1 制御部 40 は、駆動電圧 V_{DRV} の奇数倍、もしくは奇数分の 1 倍の周波数でスイッチをスイッチングすることによっても、擬似的な共振状態を実現できる。

[0155] 図 24 は、第 1 の変形例に係るワイヤレス給電装置 6a の構成を示す回路図である。図 24 の電源 10c は Hブリッジ回路で構成される。送信アンテナ 20 および自動チューニング補助回路 80a は、電源 10c の第 1 出力端子 OUT1 と第 2 出力端子 OUT2 の間に直列に設けられる。さらに直流阻

止用のキャパシタ C_2 が、送信アンテナ20と自動チューニング補助回路80aと直列に設けられる。自動チューニング補助回路80aにおいて、第1補助キャパシタ C_{A5} の一端(N2)は接地される。

[0156] 図24のワイヤレス給電装置6aによっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。

[0157] 第1の実施の形態で説明したように、電源、自動チューニング補助回路、その両方は、トランスを介して送信アンテナ20とカップリングされてもよい。図25(a)～(c)は、それぞれ第2～第4の変形例に係るワイヤレス給電装置6b～6dの構成を示す回路図である。第1制御部40は省略される。

[0158] 図25(a)のワイヤレス給電装置6bでは、自動チューニング補助回路80aは、第6トランスT6を介して送信アンテナ20と直列にカップリングされる。具体的には、第6トランスT6の1次巻線W1が、送信アンテナ20と直列に設けられ、その2次巻線W2は、自動チューニング補助回路80aの第1端子61と第2端子62の間に設けられる。電源10cは、送信アンテナ20と第6トランスT6の1次巻線W1の両端間に駆動電圧を印加する。

[0159] 図25(b)のワイヤレス給電装置6cでは、電源10cは、第7トランスT7を介して、送信アンテナ20および自動チューニング補助回路80aとカップリングされる。電源10cは、第7トランスT7の1次巻線W1の両端に駆動電圧を印加する。送信アンテナ20および自動チューニング補助回路80aは、2次巻線W2と直列に設けられる。

[0160] 図25(c)のワイヤレス給電装置6dでは、ハーフブリッジ構成の電源10が、第7トランスT7を介して送信アンテナ20および自動チューニング補助回路80aとカップリングされる。電源10の出力端子と第7トランスT7の第1巻線W1の間には、直流阻止用のキャパシタC3が設けられる。

[0161] さらに図25(a)～(c)の変形例を組み合わせ、電源、自動チュー

ニング補助回路の両方を、送信アンテナに対してトランスで結合してもよい。

[0162] これらの変形例によっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。

[0163] (ワイヤレス受電装置)

上述した第2の実施の形態に係る自動チューニング補助回路は、ワイヤレス受電装置にも利用することができる。以下では、ワイヤレス受電装置について説明する。

[0164] 図26は、第2の実施の形態に係るワイヤレス受電装置8の構成を示す回路図である。ワイヤレス受電装置8は、上述の、あるいは全く別構成のワイヤレス給電装置から送信される電力信号S1を受ける。電力信号S1は、電波になっていない電磁波の近傍界（電界、磁界、あるいは電磁界）が利用される。

[0165] ワイヤレス受電装置8は、受信アンテナ50、自動チューニング補助回路90および電力を供給すべき負荷70を備える。負荷70には、図示しない整流回路、検波回路などが内蔵されてもよい。

[0166] 受信アンテナ50は、第1端51と第2端52の間に直列に設けられた受信コイル L_{RX} および共振用キャパシタ C_{RX} を含む。

[0167] 自動チューニング補助回路90は、図22の自動チューニング補助回路80と同様に構成される。具体的には、自動チューニング補助回路90、第1端子91、第5スイッチSWc5～第8スイッチSWc8、第2補助キャパシタ C_{A6} を備える。

[0168] 第5スイッチSWc5および第6スイッチSWc6は、第1端子91と第2端子92の間に直列に設けられる。第7スイッチSWc7および第8スイッチSWc8は、第1端子91と第2端子92の間に順に直列に、かつ第5スイッチSWc5および第6スイッチSWc6に対して並列に設けられる。第2補助キャパシタ C_{A6} は、第5スイッチSWc5と第6スイッチSWc6の接続点N3と、第7スイッチSWc7と第8スイッチSWc8の接続点N

4の間に設けられる。第2補助キャパシタ C_{A6} の容量値は、共振用キャパシタ C_{RX} に比べて十分に大きいことが望ましい。

[0169] 第2制御部94は、第5スイッチ $SWc5$ ～第8スイッチ $SWc8$ を、電力信号 $S1$ と同じ周波数で、かつ送信側においてアンテナに印加される駆動電圧(V_{DRV})に対してある位相差 θ_{RX} でスイッチングする。たとえば $\theta_{RX} = 180^\circ$ または 0° であることが好ましい。

[0170] 自動チューニング補助回路90は、受信アンテナ50と直列にカップリングされる。また電力を供給すべき負荷70は、受信アンテナ50および自動チューニング補助回路90と直接に設けられる。

[0171] 以上がワイヤレス受電装置8の構成である。続いてその動作を説明する。ワイヤレス受電装置8の等価回路図は、図15のワイヤレス受電装置4と同等である。ワイヤレス給電装置6における自動チューニング補助回路80と同様に、自動チューニング補助回路90は、補正電圧 V_A を受信アンテナ50に印加する補正電源と把握することができる。

[0172] 図27は、図26のワイヤレス受電装置8の動作を示す波形図である。図27は上から順に、第5スイッチ $SWc5$ ～第8スイッチ $SWc8$ 、補正電圧 V_A 、受信アンテナ50に流れる共振電流 I_{RX} 、受信コイル L_{RX} と共振用キャパシタ C_{RX} の両端間の共振電圧 V_{RX} を示す。スイッチを示す波形は、ハイレベルがオン状態を、ローレベルがオフ状態を示す。

[0173] 第5スイッチ $SWc5$ および第8スイッチ $SWc8$ を含む第1のペアは、ワイヤレス給電装置側の駆動電圧 V_{DRV} に対して 180° または 0° シフトした位相 θ_{RX} で相補的にスイッチングされる。第6スイッチ $SWc6$ および第7スイッチ $SWc7$ を含む第2のペアは、第1のペアと相補的にスイッチングされる。共振電流 I_{RX} は、第1のペアのオン時間 T_{ON1} において、第5スイッチ $SWc5$ 、第2補助キャパシタ C_{A6} 、第8スイッチ $SWc8$ を含む経路に流れ、第2のペアのオン時間 T_{ON2} において、第6スイッチ $SWc6$ 、第2補助キャパシタ C_{A6} 、第7スイッチ $SWc7$ を含む経路に流れる。

[0174] 第2補助キャパシタ C_{A6} は、共振電流 I_{RX} によって充放電され、その結果

、第2補助キャパシタ C_{A6} には、キャパシタ電圧 V_{CA6} が発生する。そしてキャパシタ電圧 V_{CA6} に応じた補正電圧 V_A が受信アンテナ50に印加されることにより、共振電流 I_A の位相が、送信側の駆動電圧 V_{DRV} の位相と一致し、疑似共振状態が実現できる。

[0175] 疑似共振状態を実現するためには、第5スイッチ $SWc5$ および第8スイッチ $SWc8$ を適切な周波数 f_{TX} および位相 θ_{RX} でスイッチングさせる必要がある。そこでワイヤレス給電装置からワイヤレス受電装置8に対して、周波数 f_{TX} および位相 θ_{RX} を示すデータを送信してもよい。あるいはワイヤレス受電装置8は、位相 θ_{RX} をスイープし、最適な位相 θ_{RX} を検出してもよい。

[0176] 以上がワイヤレス受電装置8の動作である。

このように図26のワイヤレス受電装置8によれば、共振用キャパシタ C_{RX} の容量値を調節することなく、自動的に共振状態を実現することができる。

[0177] 続いてワイヤレス受電装置8の変形例を説明する。

[0178] これまでの説明では、第2制御部64は、電力信号 $S1$ と同じ周波数で、自動チューニング補助回路30を構成する複数のスイッチを駆動する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。第2制御部64は、電力信号 $S1$ の奇数倍、もしくは奇数分の1倍の周波数でスイッチをスイッチングすることによっても、擬似的な共振状態を実現できる。

[0179] 図26では、負荷70の一端を接地して基準電位としているが、負荷70の一端を接地する代わりに、自動チューニング補助回路90の第2補助キャパシタ C_{A6} の一端、すなわち接続点 $N3$ または $N4$ の一方を接地してもよい。

[0180] 図28(a)、(b)は、第2、第3の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

[0181] 図26では、負荷70が受信アンテナ50と直列に接続される場合を説明したが、負荷70は別の位置に設けられてもよい。

図28(a)に示す第1の変形例に係るワイヤレス受電装置8aでは、自

動チューニング補助回路 90 a の接続点 N 4 が接地される。負荷 70 a は、第 2 補助キャパシタ C_{A6} と並列に設けられる。すなわち負荷 70 a には、第 2 補助キャパシタ C_{A6} に生ずるキャパシタ電圧 V_{CA6} が供給される。

[0182] 図 28 (b) に示す第 2 の変形例に係るワイヤレス受電装置 8 b では、負荷 70 b は、受信アンテナ 50 および自動チューニング補助回路 90 a と直列な経路に、第 8 トランス T 8 を介してカップリングされる。

[0183] 図 28 (c)、(d) は、負荷の構成例を示す回路図である。図 28 (c) の負荷 70 c は、ダイオード整流回路 72 c と、負荷回路 76 を含む。図 28 (d) の負荷 70 d は、同期検波回路 72 d と負荷回路 76 を含む。負荷回路は、図 20 に示すようにさらにスイッチングレギュレータ 74 を備えてもよい。

[0184] 自動チューニング補助回路 90 は、受信アンテナ 50 に対してトランスを介して直列に結合されてもよい。図 29 は、第 3 の変形例に係るワイヤレス受電装置 8 c の構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路 90 a は、第 9 トランス T 9 を介して、受信アンテナ 50 と直列にカップリングされる。負荷は、受信アンテナ 50 および 1 次巻線 W 1 と直列に設けられてもよいし、第 2 補助キャパシタ C_{A6} と並列に設けられてもよい。

[0185] これらの変形例によっても、図 26 のワイヤレス受電装置 8 と同様の効果を得ることができる。

[0186] 図 26 のように受信アンテナ 50 と直列に負荷を接続した場合、負荷のインピーダンスが低い場合には、自動チューニング補助回路 90 による調整をしなくても、ある程度の電力を取り出すことができるという利点がある。一方で、負荷の抵抗成分によって受信アンテナ 50 の Q 値が低下するため、大電力が取り出しにくくなる。

[0187] 反対に図 28 (a) のように自動チューニング補助回路 90 a から電力を取り出す場合、負荷 70 によって受信アンテナ 50 の Q 値が低下しないため、負荷 70 a のインピーダンスが高い場合でも、大電力を取り出すことができる。一方、負荷 70 a のインピーダンスが低すぎる場合、自動チューニン

グ補助回路 60 の動作が阻害されるという問題がある。

[0188] したがって、負荷をいずれの位置に配置するかは、送電すべき電力や、負荷のインピーダンス等を考慮して決定すればよい。

[0189] 第 5 スイッチ $SWc5$ ～第 8 スイッチ $SWc8$ は、双方向スイッチ、あるいは片方向スイッチのいずれかでも構成できる。片方向スイッチを用いる場合、それらのスイッチングの位相に注意を払う必要があることも、すでに説明した通りである。

[0190] (ワイヤレス送電システム)

第 2 の実施の形態で説明したワイヤレス給電装置 6 とワイヤレス受電装置 8 を組み合わせることにより、ワイヤレス送電システムを実現できる。

[0191] また、ワイヤレス給電装置 6、ワイヤレス受電装置 8 の両方に自動チューニング補助回路を実装する場合を説明したが、本発明はそれには限定されない。

ワイヤレス給電装置 6 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス受電装置は、従来のように共振用キャパシタ C_{RX} の調節を行ってもよい。反対にワイヤレス受電装置 8 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス給電装置 6 は、従来のように共振用キャパシタ C_{TX} の調節を行ってもよい。

[0192] さらに、ワイヤレス給電装置 6 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス受電装置 8 は、一切の調節機構を有さなくてもよい。あるいはワイヤレス受電装置 8 にのみ自動チューニング補助回路を設け、ワイヤレス給電装置 6 は、一切の調節機構を有さなくてもよい。

これらの場合、単一の自動チューニング補助回路によって、電源 10 と負荷 70 の間のインピーダンスマッチングがとれるようにチューニングされ、高効率な電力伝送が可能となる。この場合に、自動チューニング補助回路のスイッチングの位相 θ_{TX} (θ_{RX}) の最適値は 90° もしくは 270° (180° もしくは 0°) から外れることに留意すべきである。

[0193] あるいは、第 1 の実施の形態に係るワイヤレス給電装置 2 を、第 2 の実施

の形態に係るワイヤレス受電装置 8 と組み合わせてもよいし、ワイヤレス受電装置 4 をワイヤレス給電装置 6 と組み合わせてもよい。

[0194] 以上、本発明について、第 2 の実施の形態をもとに説明した。この実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。以下、こうした変形例について説明する。

[0195] 自動チューニング補助回路 80 を備えるワイヤレス給電装置 6 においては、共振用キャパシタ C_{TX} を省略しても疑似共振状態が実現できる場合がある。この場合、共振用キャパシタ C_{TX} を省略してもよい。同様に自動チューニング補助回路 90 を備えるワイヤレス受電装置 8 において、共振用キャパシタ C_{RX} を省略してもよい。

[0196] ワイヤレス給電装置 6 は、所定の規則（暗号コード）に従い、駆動電圧 V_D 、 V_R の周波数 f_{TX} および位相の少なくとも一方を変化させ、電力信号 S_1 を暗号化する。暗号コードを知っているワイヤレス受電装置 8 は、その暗号コードにもとづき、自動チューニング補助回路 90 のスイッチング周波数、位相を制御する。その結果、電力信号 S_1 が暗号化されている場合でも、それを復号して電力供給を受けることができる。暗号コードを知らないワイヤレス受電装置は、自動チューニング補助回路 90 のスイッチを適切に制御できないため、電力を受信することができなくなる。ワイヤレス電力伝送では、悪意の利用者による盗電が問題となりうるが、自動チューニング補助回路を利用することにより、この問題を解決することができる。

あるいは、単一のワイヤレス給電装置 6 が複数のワイヤレス受電装置 8 に給電する際に、自動チューニング補助回路を利用することにより端末毎の給電量を制御できる。

[0197] 自動チューニング補助回路 30 の用途は、ワイヤレス電力電送には限定されず、チューニングが必要なさまざまな用途に利用できる。

[0198] 実施の形態にもとづき本発明を説明したが、実施の形態は、本発明の原理

、応用を示しているにすぎず、実施の形態には、請求の範囲に規定された本発明の思想を逸脱しない範囲において、多くの変形例や配置の変更が認められる。

符号の説明

[0199] 1…ワイヤレス送電システム、2…ワイヤレス給電装置、4…ワイヤレス受電装置、6…ワイヤレス給電装置、8…ワイヤレス受電装置、10…電源、12…直流電源、SWH1…第1ハイサイドスイッチ、SWL1…第1ローサイドスイッチ、SWH2…第2ハイサイドスイッチ、SWL2…第2ローサイドスイッチ、20…送信アンテナ、22…第1端、24…第2端、 L_{TX} …送信コイル、 C_{TX} …共振用キャパシタ、30…自動チューニング補助回路、31…第1端子、32…第2端子、34…充電回路、 C_{A1} …第1補助キャパシタ、 C_{A2} …第2補助キャパシタ、 C_{A3} …第3補助キャパシタ、 C_{A4} …第4補助キャパシタ、SW1…第1スイッチ、SW2…第2スイッチ、40…第1制御部、50…受信アンテナ、 L_{RX} …受信コイル、 C_{RX} …共振用キャパシタ、51…第1端、52…第2端、60…自動チューニング補助回路、SW3…第3スイッチ、SW4…第4スイッチ、61…第1端子、62…第2端子、64…第2制御部、70…負荷、72…整流回路、SWH3…第3ハイサイドスイッチ、SWL3…第3ローサイドスイッチ、74…スイッチングレギュレータ、76…負荷回路、80…自動チューニング補助回路、81…第1端子、82…第2端子、SWc1…第1スイッチ、SWc2…第2スイッチ、SWc3…第3スイッチ、SWc4…第4スイッチ、 C_{A5} …第1補助キャパシタ、90…自動チューニング補助回路、91…第1端子、92…第2端子、SWc5…第5スイッチ、SWc6…第6スイッチ、SWc7…第7スイッチ、SWc8…第8スイッチ、 C_{A6} …第2補助キャパシタ、94…第2制御部。

産業上の利用可能性

[0200] 本発明は、ワイヤレス給電技術に利用できる。

請求の範囲

- [請求項1] ワイヤレス受電装置に対して、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置であって、
- 送信コイルを含む送信アンテナと、
- 前記送信アンテナとカップリングされる自動チューニング補助回路と、
- 前記送信アンテナおよび前記自動チューニング補助回路の両端間に交流の駆動電圧を印加する電源と、
- を備え、
- 前記自動チューニング補助回路は、
- 第1端子と、
- 第2端子と、
- N個（Nは自然数）の補助キャパシタと、
- それぞれが、前記第1端子、前記第2端子、前記N個の補助キャパシタの端子のうち2つの間に設けられた複数のスイッチと、
- 前記複数のスイッチそれぞれを、前記駆動電圧と同期してスイッチングする第1制御部と、
- を備えることを特徴とするワイヤレス給電装置。
- [請求項2] 前記第1制御部は、前記複数のスイッチそれぞれを、前記駆動電圧と同じ周波数、その奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングすることを特徴とする請求項1に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項3] 前記自動チューニング補助回路は、
- 前記第1端子と前記第2端子の間に直列に設けられた、第1スイッチおよび第1補助キャパシタと、
- 前記第1端子と前記第2端子の間に、前記第1スイッチおよび前記第1補助キャパシタに対して並列に設けられた第2スイッチと、
- を含むことを特徴とする請求項1または2に記載のワイヤレス給電装置。

- [請求項4] 前記第1制御部は、前記第1スイッチおよび前記第2スイッチを、前記駆動電圧と同じ周波数で、かつ駆動電圧に対してある位相差でスイッチングすることを特徴とする請求項3に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項5] 前記自動チューニング補助回路は、
前記第1端子と前記第2端子の間に、前記第2スイッチと直列に設けられた第2補助キャパシタをさらに含むことを特徴とする請求項3または4に記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項6] 前記第1スイッチ、前記第2スイッチは、片方向スイッチで構成され、
前記第1制御部は、前記第1スイッチおよび前記第2スイッチを、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングすることを特徴とする請求項3から5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項7] 前記第1スイッチ、前記第2スイッチは、双方向スイッチで構成されることを特徴とする請求項3から6のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項8] 前記自動チューニング補助回路は、トランスを介して前記送信アンテナと直列にカップリングされることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。
- [請求項9] 前記電源は、
直流電源と、
前記直流電源の出力端子と固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第1ハイサイドスイッチおよび第1ローサイドスイッチと、
を含み、
前記送信アンテナおよび前記自動チューニング補助回路は、前記第1ハイサイドスイッチおよび前記第1ローサイドスイッチの接続点と前記固定電圧端子との間に直列にカップリングされることを特徴とす

る請求項 1 から 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

[請求項10]

前記電源は、

直流電源と、

前記直流電源の出力端子と固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第 1 ハイサイドスイッチおよび第 1 ローサイドスイッチと、

前記直流電源の出力端子と前記固定電圧端子の間に順に直列に設けられた第 2 ハイサイドスイッチおよび第 2 ローサイドスイッチと、

を含み、

前記送信アンテナおよび前記自動チューニング補助回路は、前記第 1 ハイサイドスイッチおよび前記第 1 ローサイドスイッチの接続点と、前記第 2 ハイサイドスイッチおよび前記第 2 ローサイドスイッチの接続点との間に直列にカップリングされることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

[請求項11]

前記送信アンテナは、

前記送信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタを含むことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

[請求項12]

前記電源は、前記送信アンテナおよび前記自動チューニング補助回路の両端間に、トランスを介して交流の駆動電圧を印加することを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

[請求項13]

請求項 1 から 12 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置と、

前記ワイヤレス給電装置からの電力信号を受信するワイヤレス受電装置と、

を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

[請求項14]

ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を受信するワイヤレス受電装置であって、

受信コイルを含む受信アンテナと、

前記受信アンテナとカップリングされる自動チューニング補助回路

と、

を備え、

前記自動チューニング補助回路は、

第1端子と、

第2端子と、

N個（Nは自然数）の補助キャパシタと、

それぞれが、前記第1端子、前記第2端子、前記N個の補助キャパシタの端子のうち2つの間に設けられた複数のスイッチと、

前記複数のスイッチそれぞれをスイッチングする第2制御部と、

を備えることを特徴とするワイヤレス受電装置。

[請求項15] 前記第2制御部は、前記複数のスイッチそれぞれを、前記電力信号と同じ周波数、その奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングすることを特徴とする請求項14に記載のワイヤレス受電装置。

[請求項16] 前記自動チューニング補助回路は、
前記第1端子と前記第2端子の間に直列に設けられた、第3スイッチおよび第3補助キャパシタと、
前記第1端子と前記第2端子の間に、前記第3スイッチおよび前記第3補助キャパシタに対して並列に設けられた第4スイッチと、
を含むことを特徴とする請求項14または15に記載のワイヤレス受電装置。

[請求項17] 前記第2制御部は、前記第3スイッチおよび前記第4スイッチを前記電力信号と同じ周波数でスイッチングすることを特徴とする請求項16に記載のワイヤレス受電装置。

[請求項18] 前記第2制御部は、前記ワイヤレス給電装置において送信アンテナに印加される駆動電圧に対して、所定の位相差で前記第3スイッチおよび前記第4スイッチを駆動することを特徴とする請求項16に記載のワイヤレス受電装置。

[請求項19] 前記自動チューニング補助回路は、

前記第 1 端子と前記第 2 端子の間に、前記第 4 スイッチと直列に設けられた第 4 補助キャパシタをさらに備えることを特徴とする請求項 16 から 18 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項20] 前記第 3 スイッチ、前記第 4 スイッチは、片方向スイッチで構成され、

前記第 2 制御部は、前記第 3 スイッチおよび前記第 4 スイッチを、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングすることを特徴とする請求項 16 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項21] 前記第 3 スイッチ、前記第 4 スイッチは、双方向スイッチで構成されることを特徴とする請求項 16 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項22] 電力を供給すべき負荷は、前記第 3 補助キャパシタに接続されることを特徴とする請求項 16 から 21 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項23] 電力を供給すべき負荷は、前記受信アンテナの第 1 端に接続されることを特徴とする請求項 14 から 22 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項24] その 1 次巻線が前記受信アンテナと直列に設けられたトランスをさらに備え、

電力を供給すべき負荷は、前記トランスの 2 次巻線に接続されることを特徴とする請求項 14 から 23 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項25] 前記自動チューニング補助回路は、トランスを介して前記受信アンテナと直列にカップリングされることを特徴とする請求項 14 から 24 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

[請求項26] 前記受信アンテナは、前記受信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタを含むことを特徴とする請求項 14 から 25 のいずれかに記

載のワイヤレス受電装置。

[請求項27] 電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置と、

前記電力信号を受信する請求項 1 4 から 2 6 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置と、

を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

[請求項28] 請求項 1 から 1 2 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置と、

前記ワイヤレス給電装置からの前記電力信号を受信する請求項 1 4 から 2 6 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置と、

を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

[請求項29] ワイヤレス受電装置に対して、送信コイルから電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置に使用され、前記送信コイルとカップリングされる自動チューニング補助回路であって、

少なくともひとつの補助キャパシタと、

前記送信コイルに流れる共振電流によって前記少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれを充電および放電するために設けられた複数のスイッチと、

前記複数のスイッチをスイッチングすることにより、前記少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれの両端間にキャパシタ電圧を発生させるとともに、前記少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれのキャパシタ電圧に応じた補正電圧を、前記送信コイルに印加せしめる第 1 制御部と、

を備えることを特徴とする自動チューニング補助回路。

[請求項30] ワイヤレス受電装置に対して、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置であって、

送信コイルを含む送信アンテナと、

前記送信アンテナとカップリングされる請求項 2 9 に記載の自動チ

ューニング補助回路と、

前記送信アンテナおよび前記自動チューニング補助回路の両端間に
交流の駆動電圧を印加する電源と、

を備えることを特徴とするワイヤレス給電装置。

[請求項31]

ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれか
を含む電力信号を受信コイルにより受信するワイヤレス受電装置に使用
され、前記受信コイルとカップリングされる自動チューニング補助
回路であって、

少なくともひとつの補助キャパシタと、

前記受信コイルに流れる共振電流によって前記少なくともひとつの
補助キャパシタそれぞれを充電および放電するために設けられた複数の
のスイッチと、

前記複数のスイッチをスイッチングすることにより、前記少なくとも
ひとつの補助キャパシタそれぞれの両端間にキャパシタ電圧を発生
させるとともに、前記少なくともひとつの補助キャパシタそれぞれの
キャパシタ電圧に応じた補正電圧を、前記受信コイルに印加せしめる
第2制御部と、

を備えることを特徴とする自動チューニング補助回路。

[請求項32]

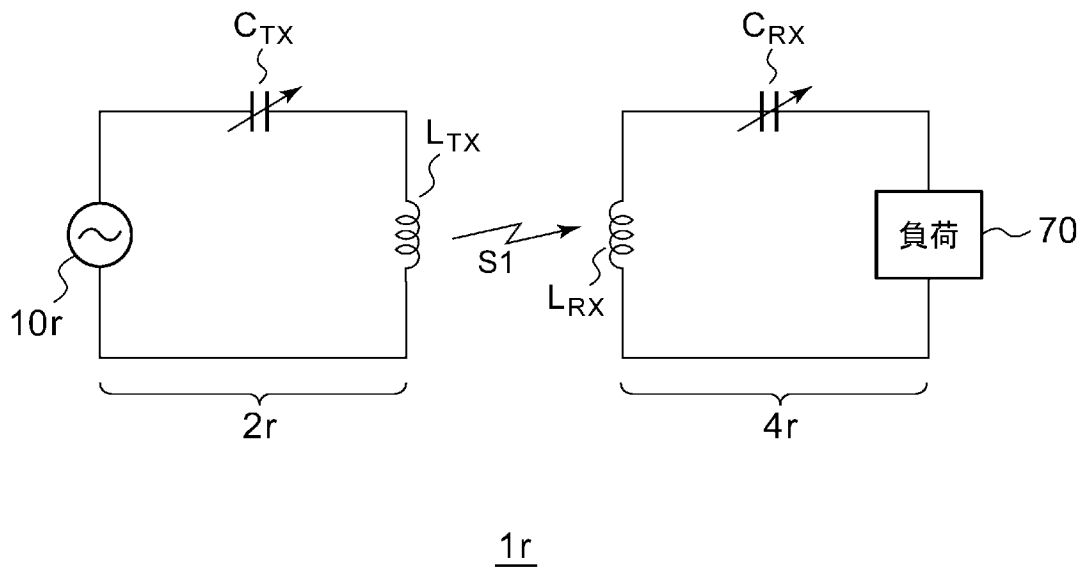
ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれか
を含む電力信号を受信するワイヤレス受電装置であって、

受信コイルを含む受信アンテナと、

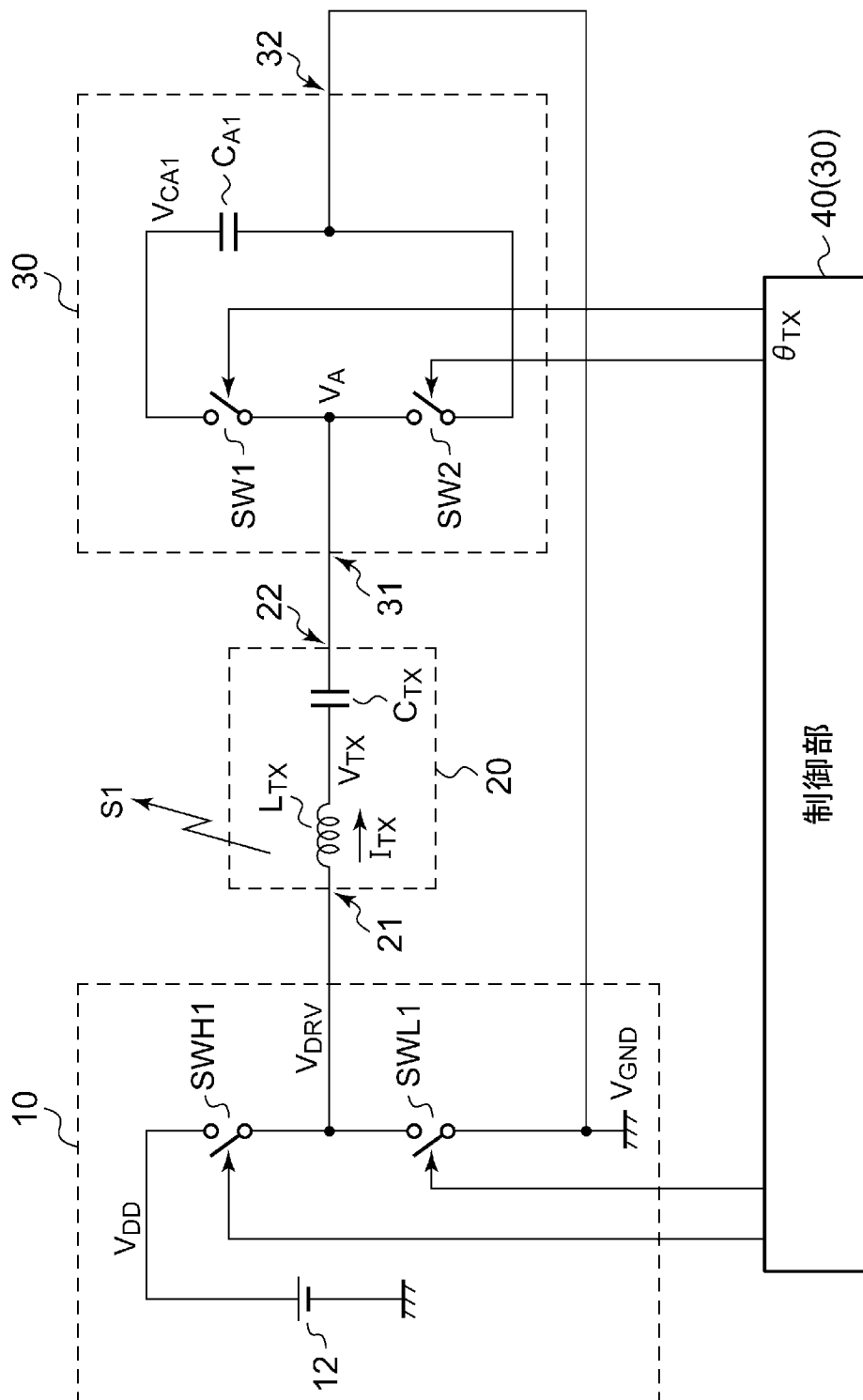
前記受信アンテナとカップリングされる請求項31に記載の自動チ
ューニング補助回路と、

を備えることを特徴とするワイヤレス受電装置。

[図1]

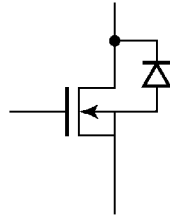
比較技術

[図2]

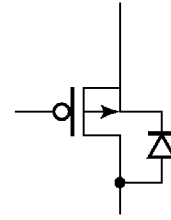


[図3]

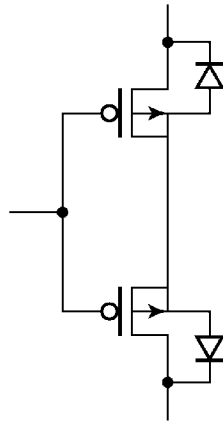
(a)



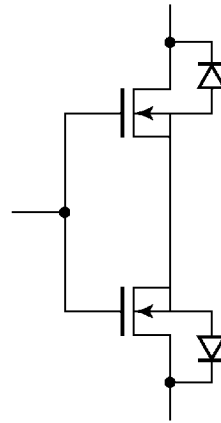
(b)



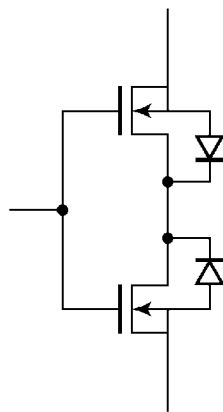
(c)



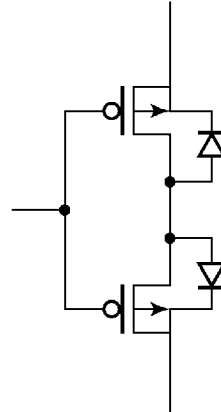
(d)



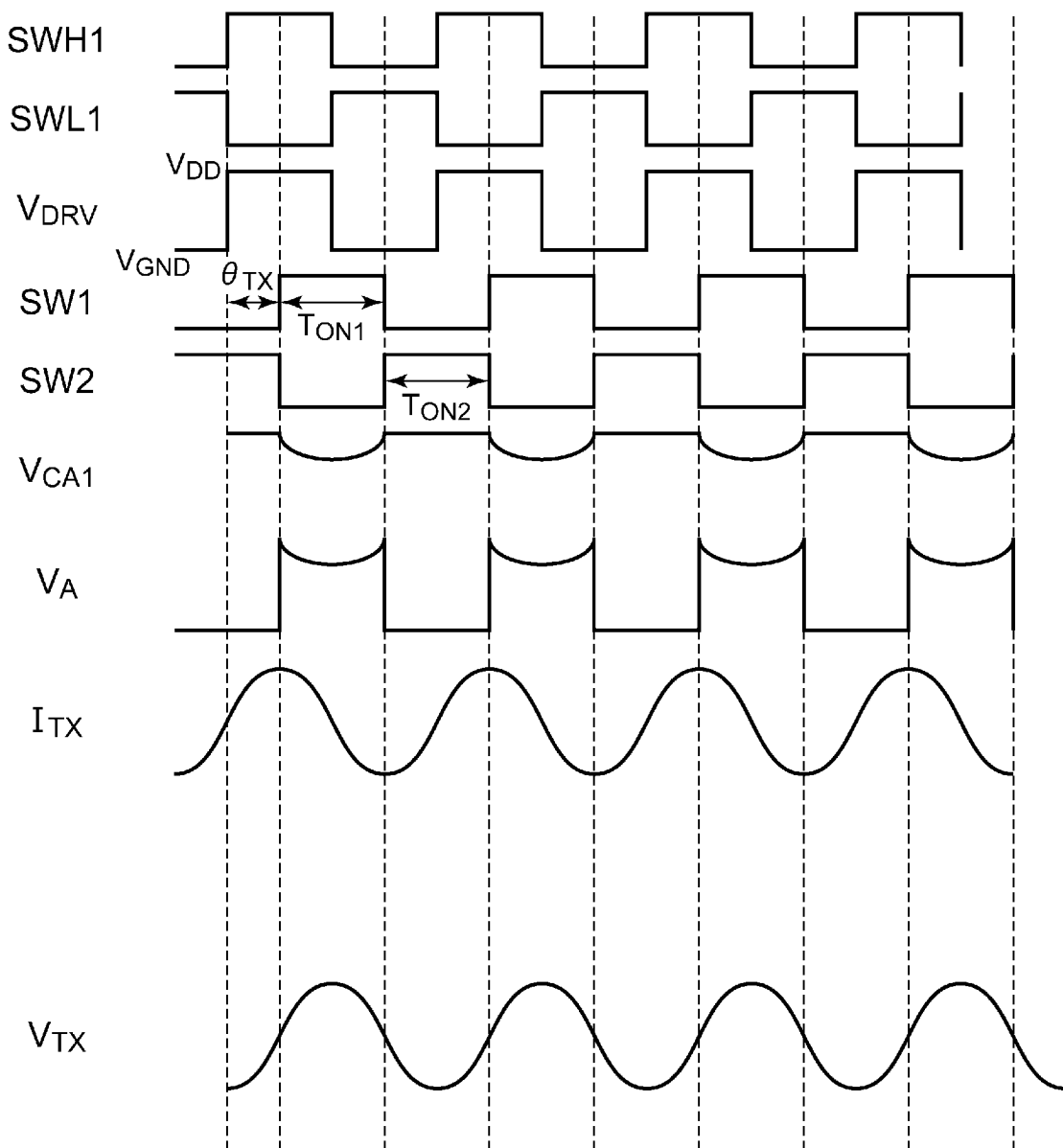
(e)



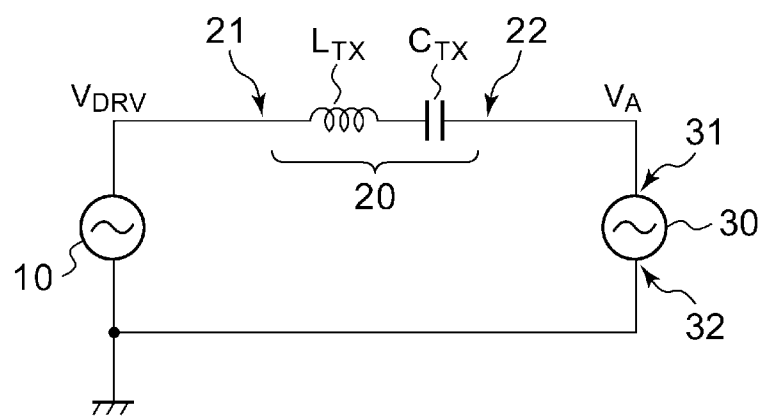
(f)



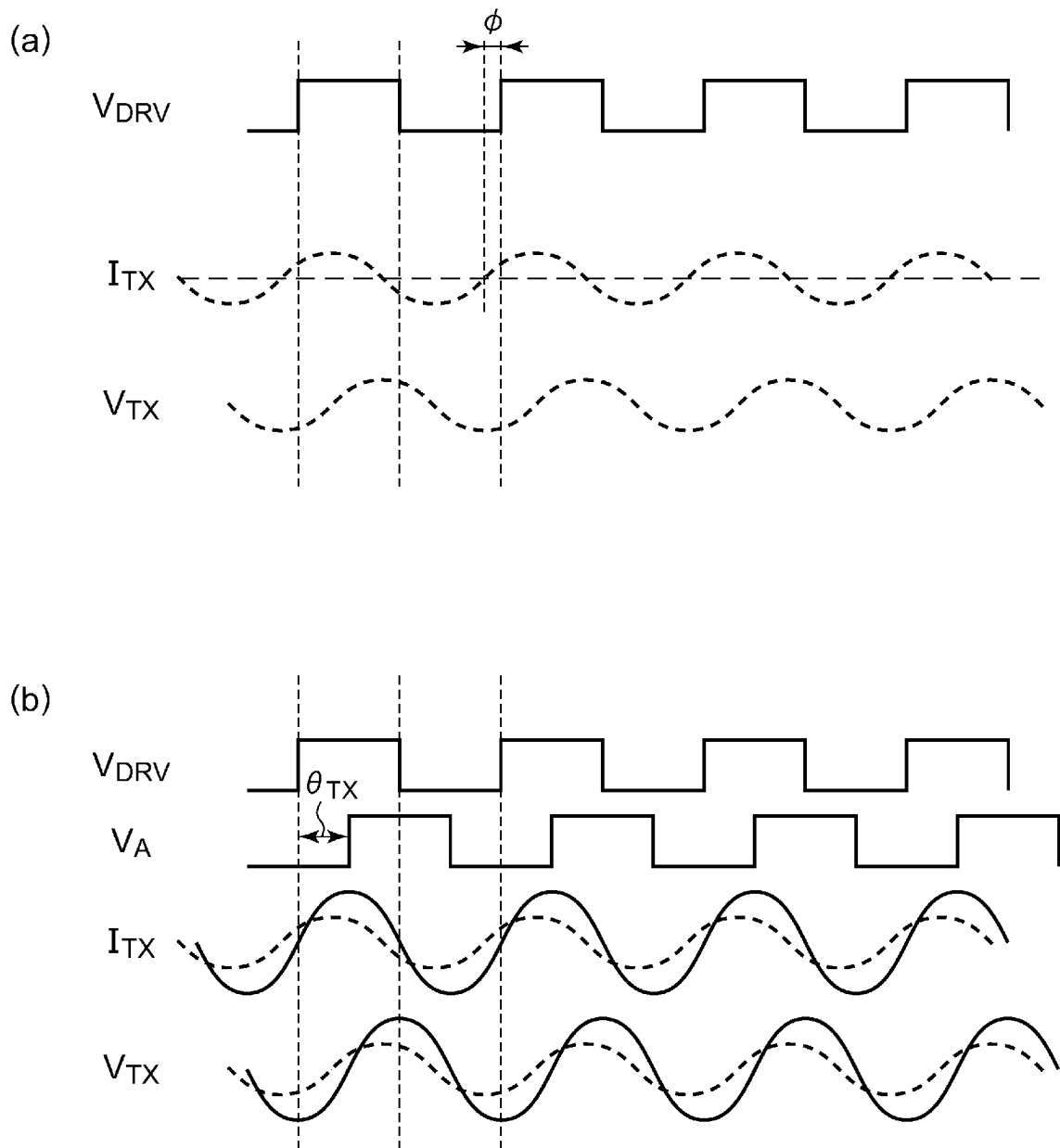
[図4]



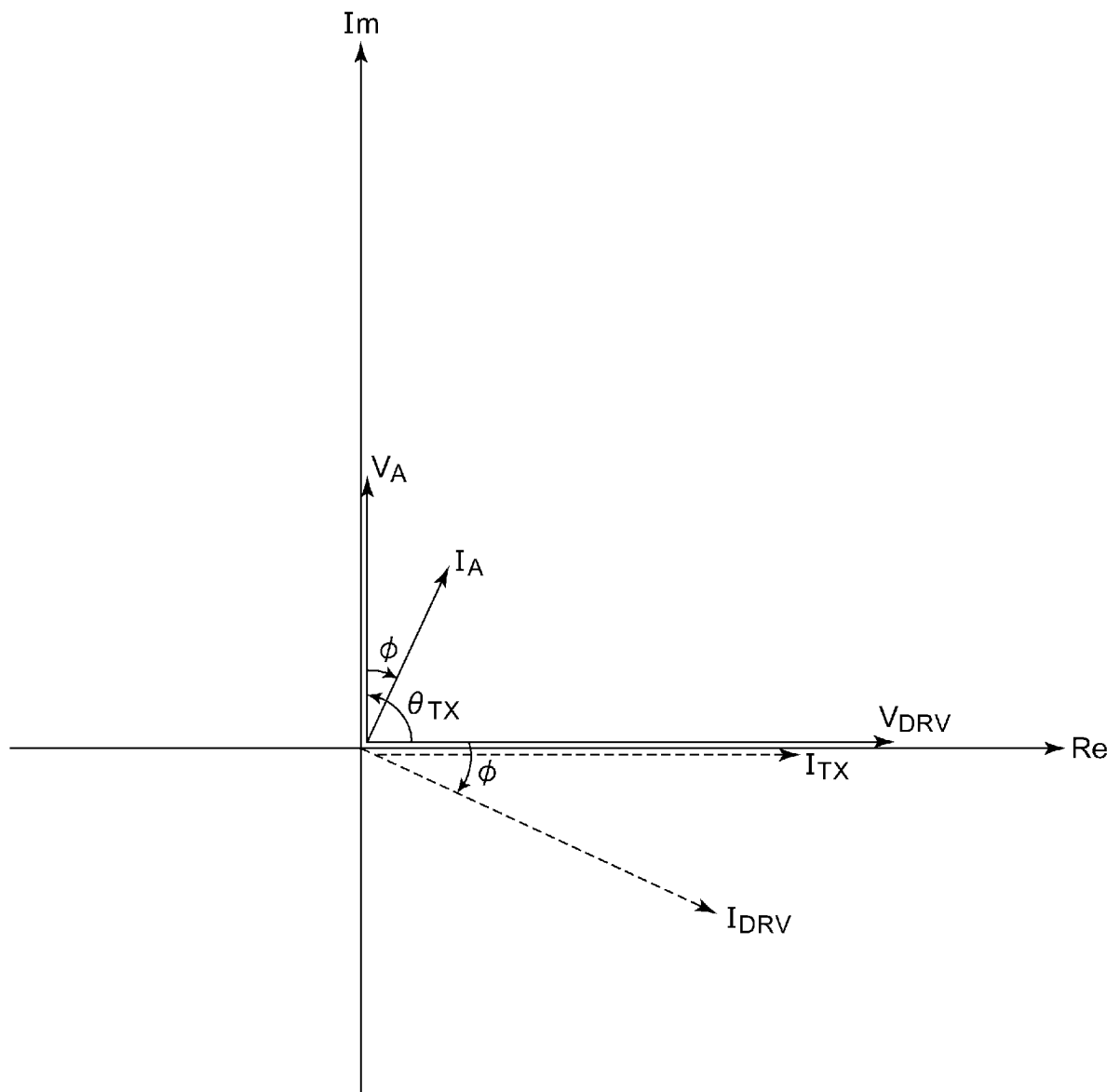
[図5]



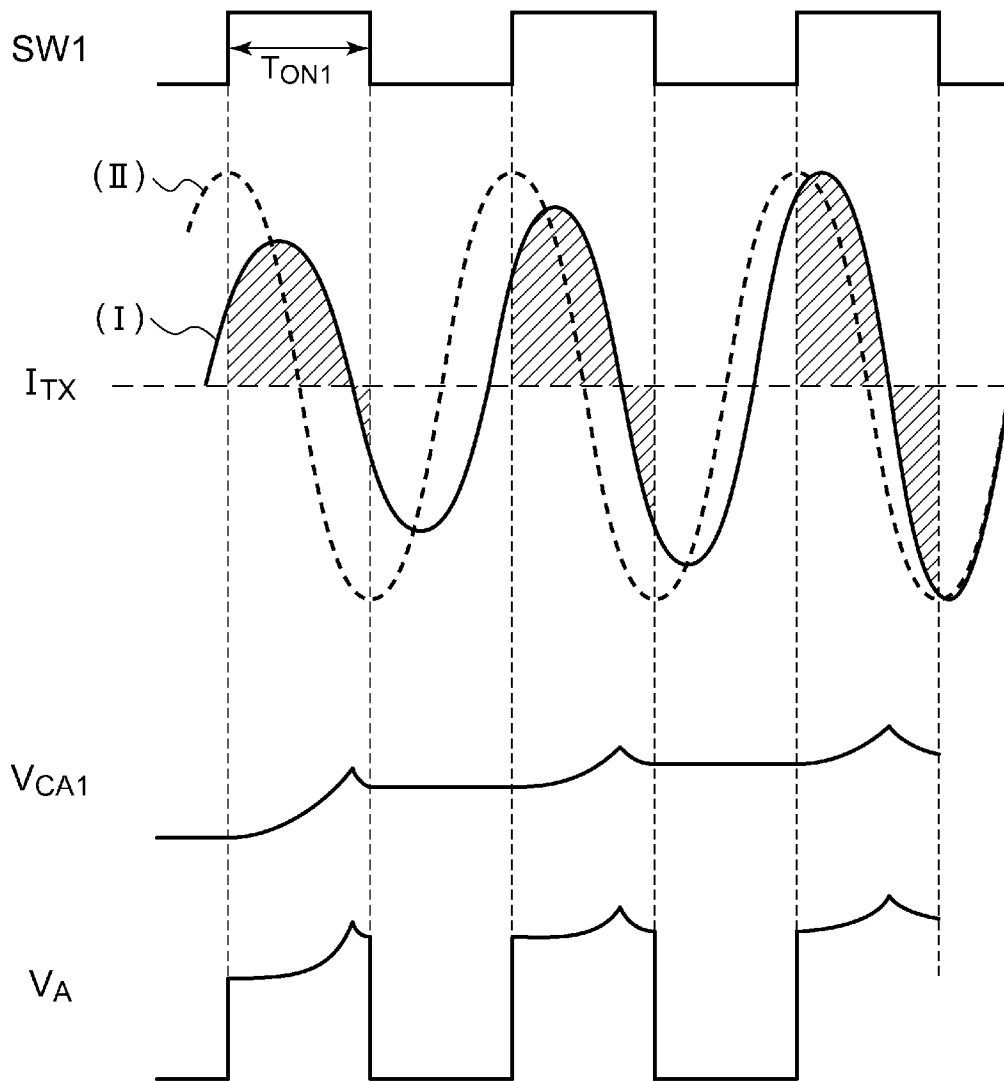
[図6]



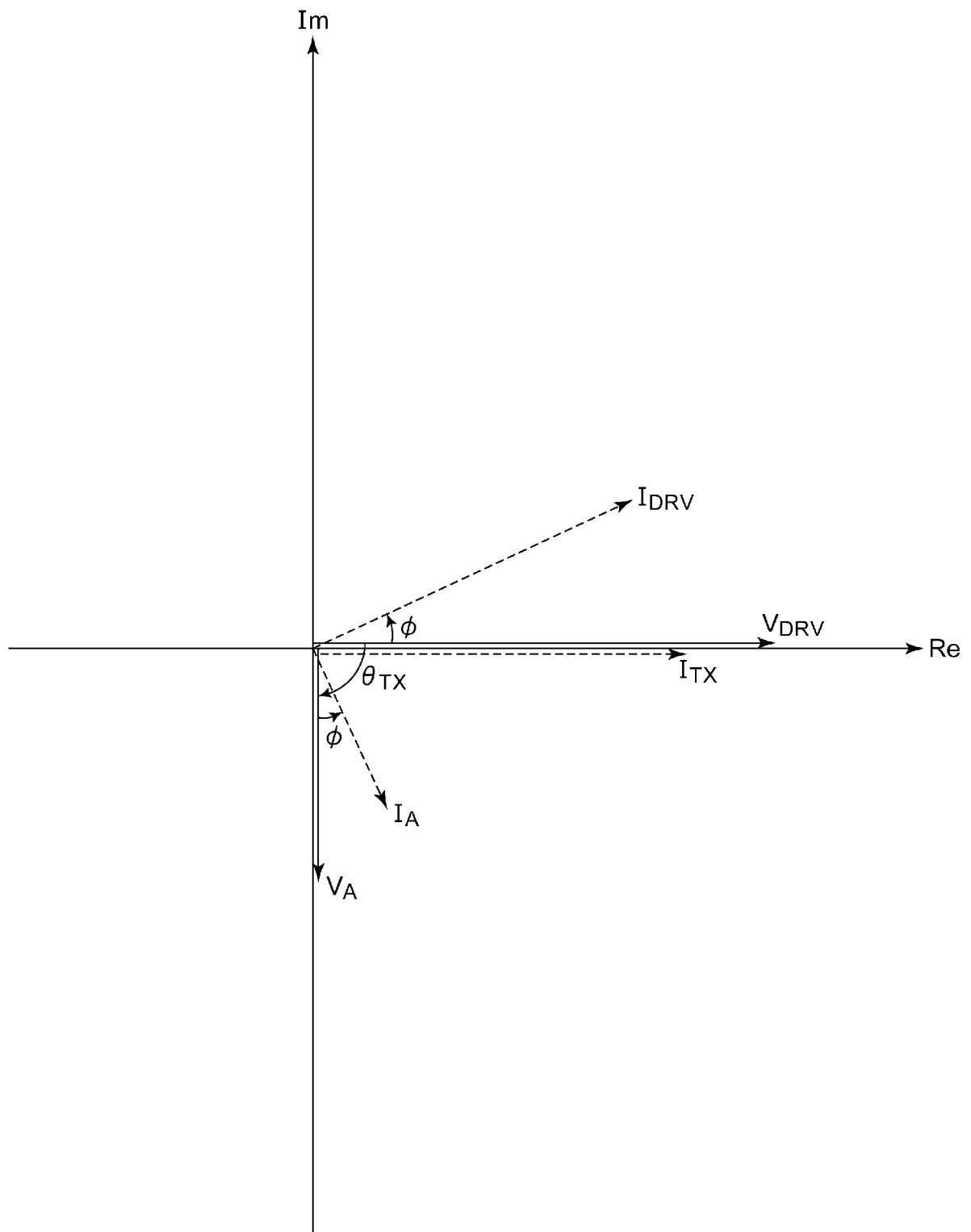
[図7]



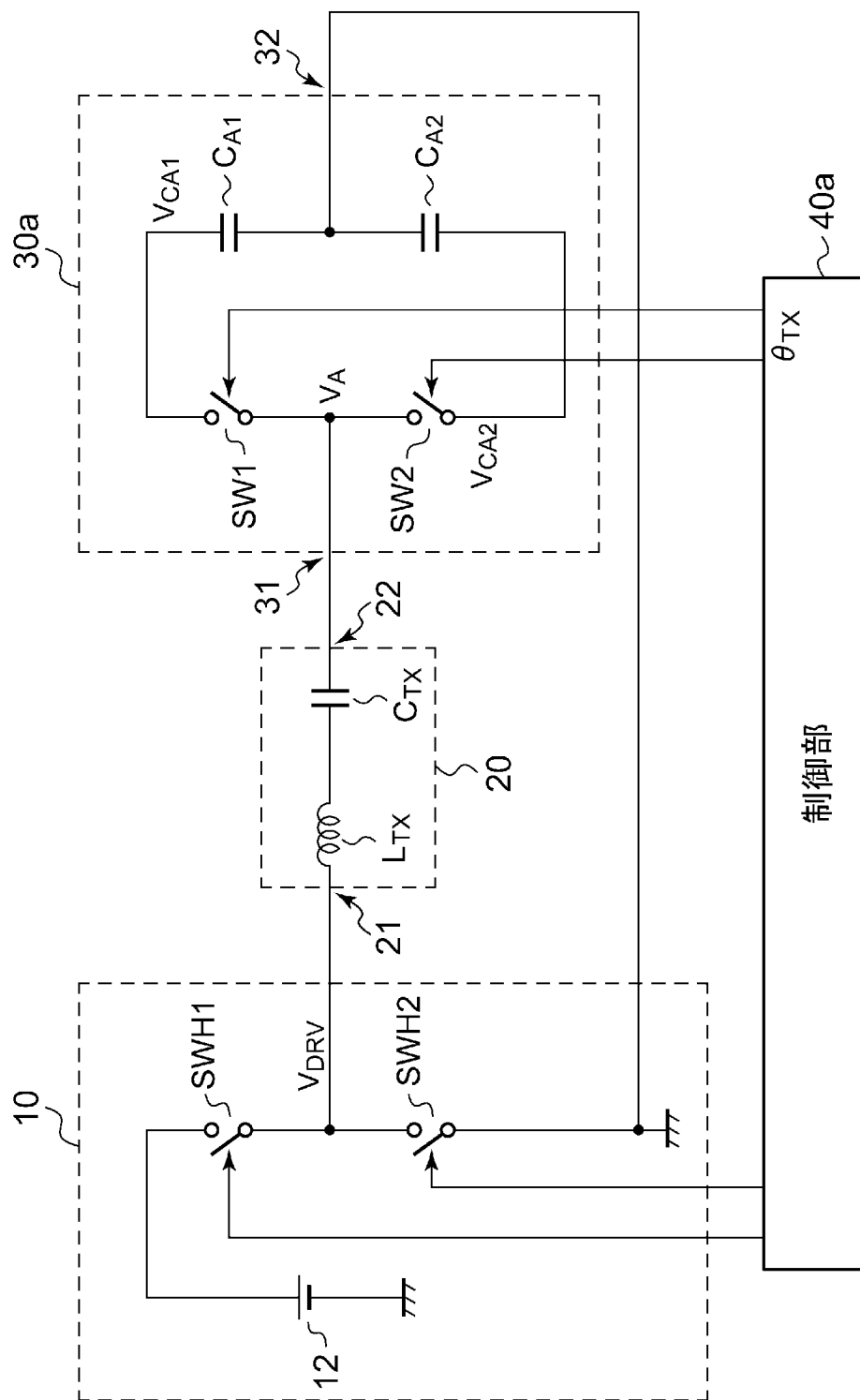
[図8]



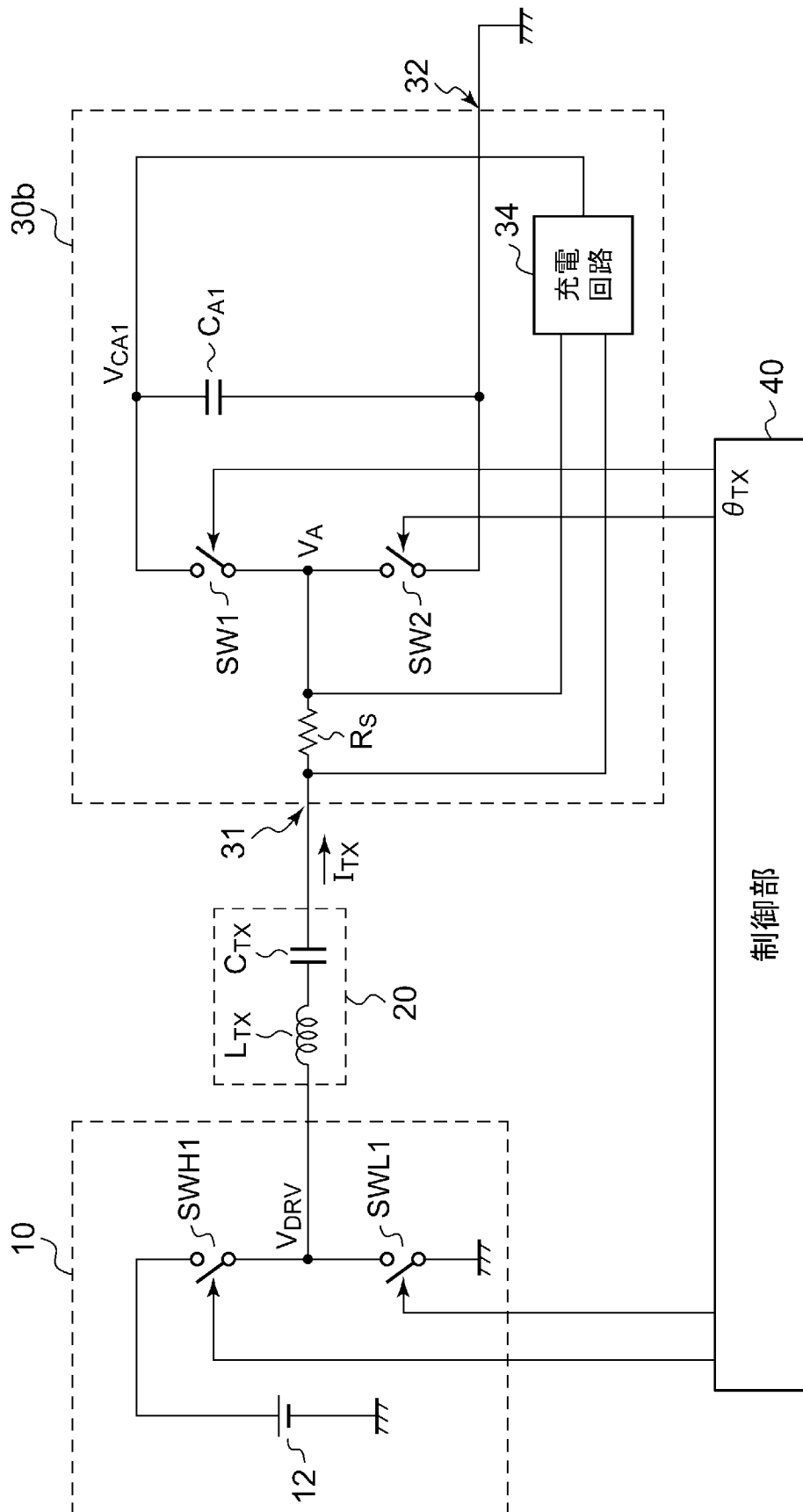
[図9]



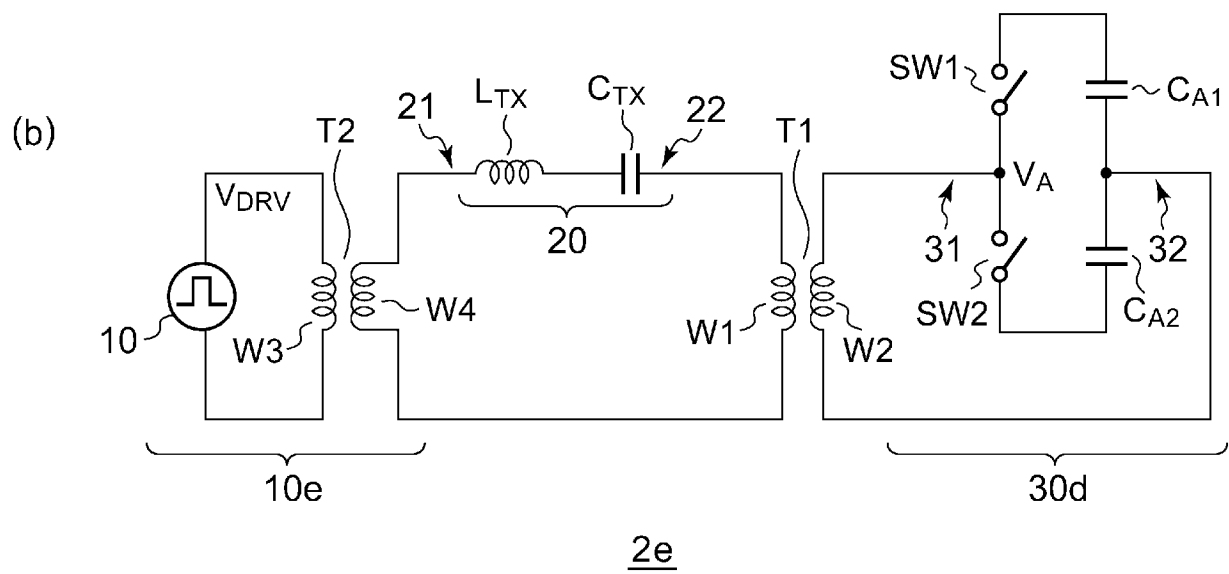
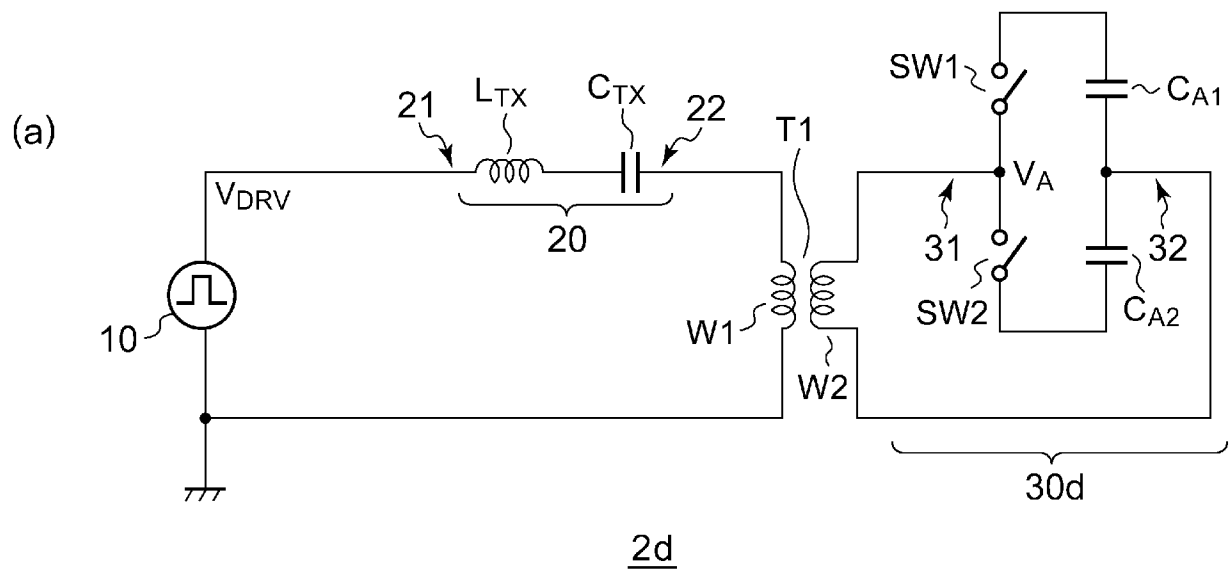
[図10]

2a

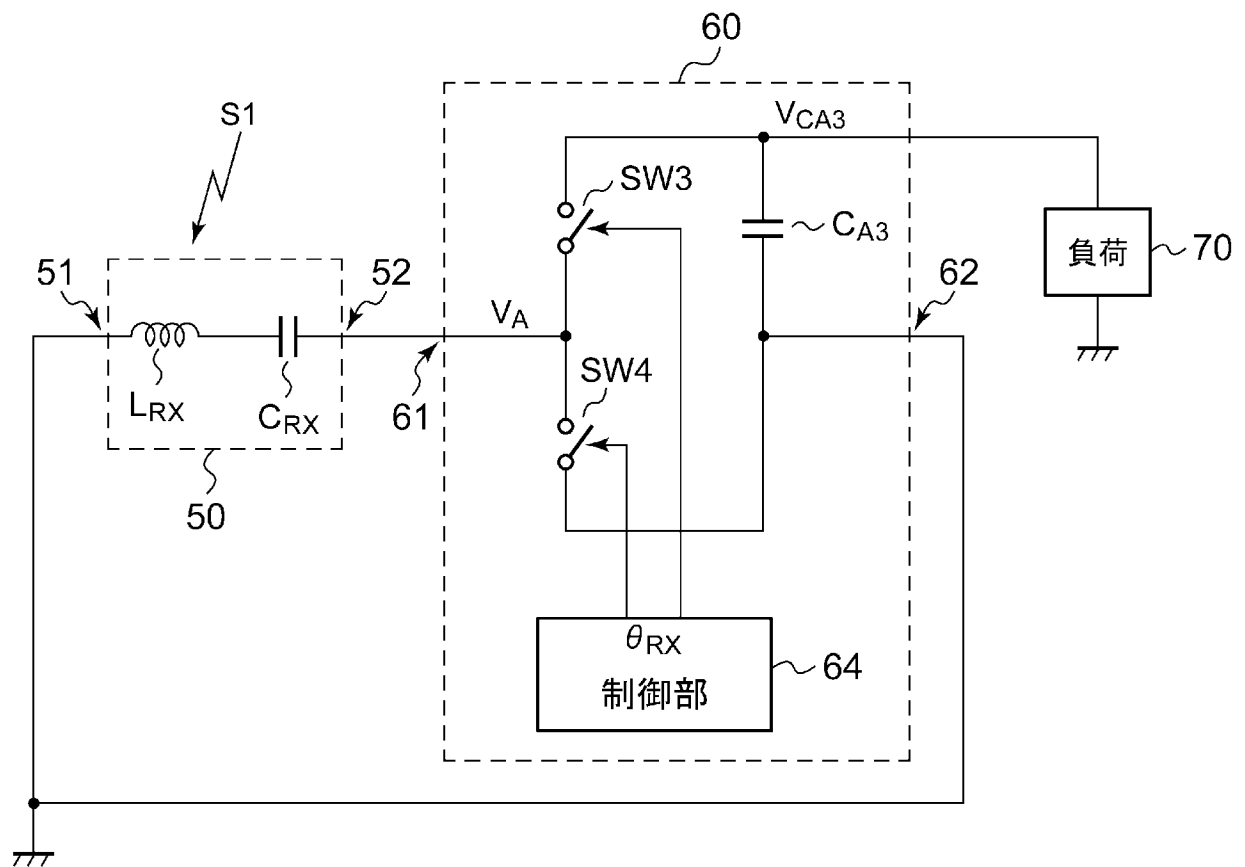
[図11]

2b

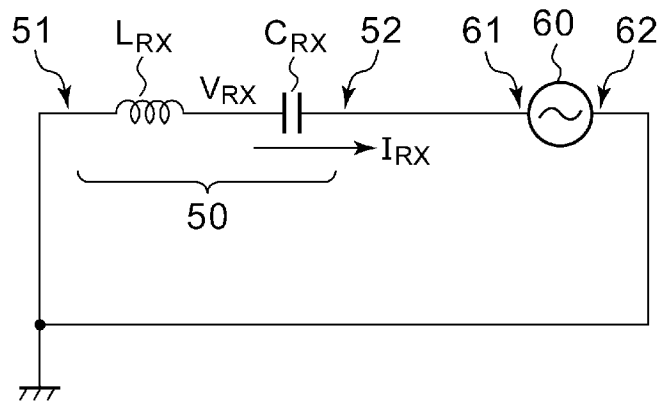
[図13]



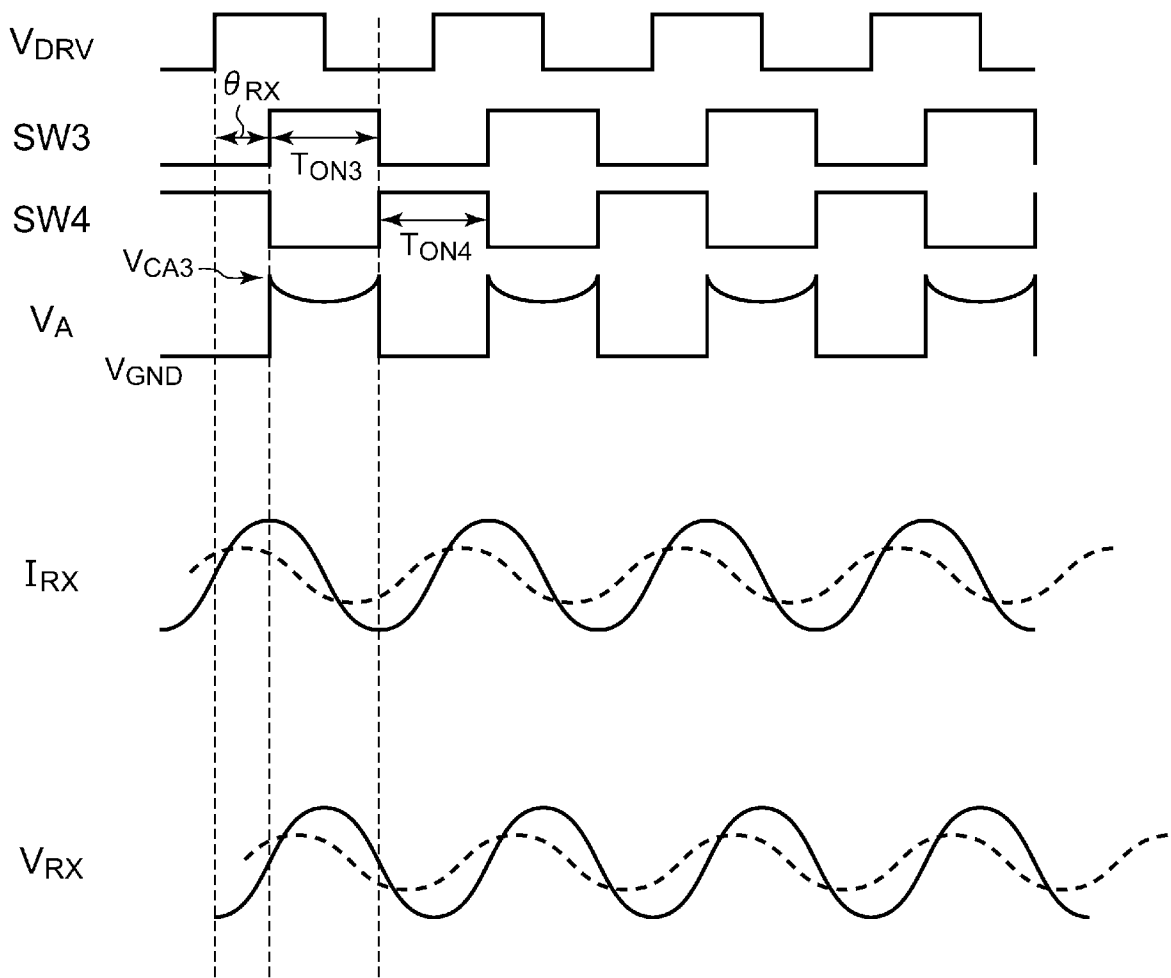
[図14]

4

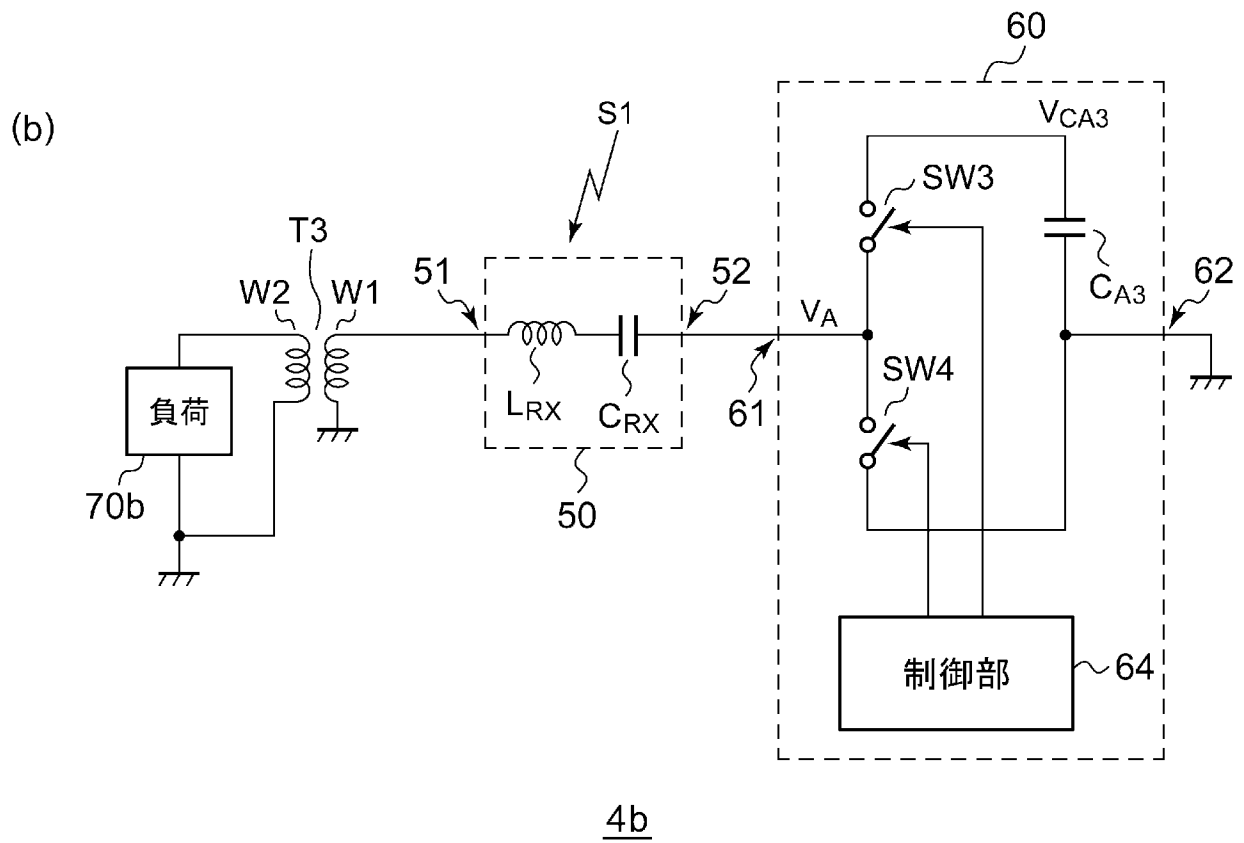
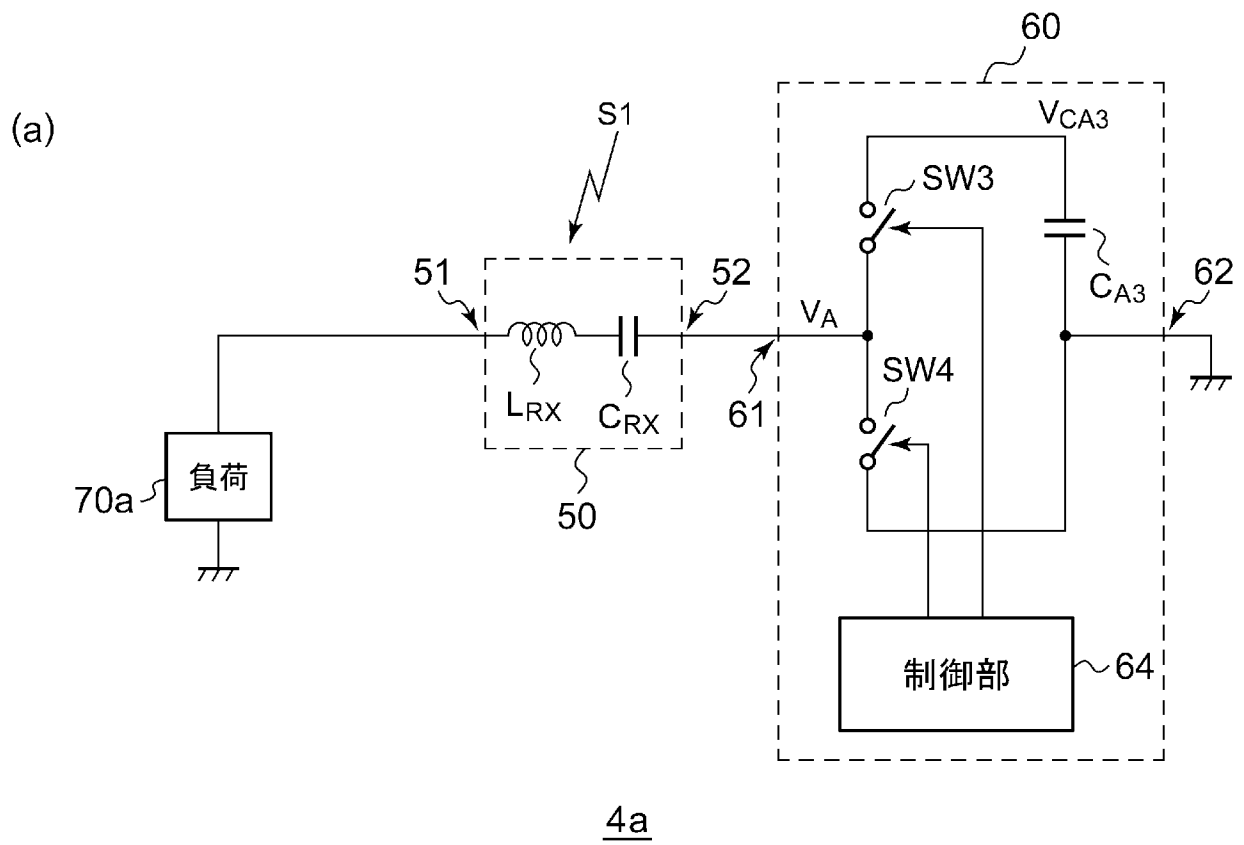
[図15]

4

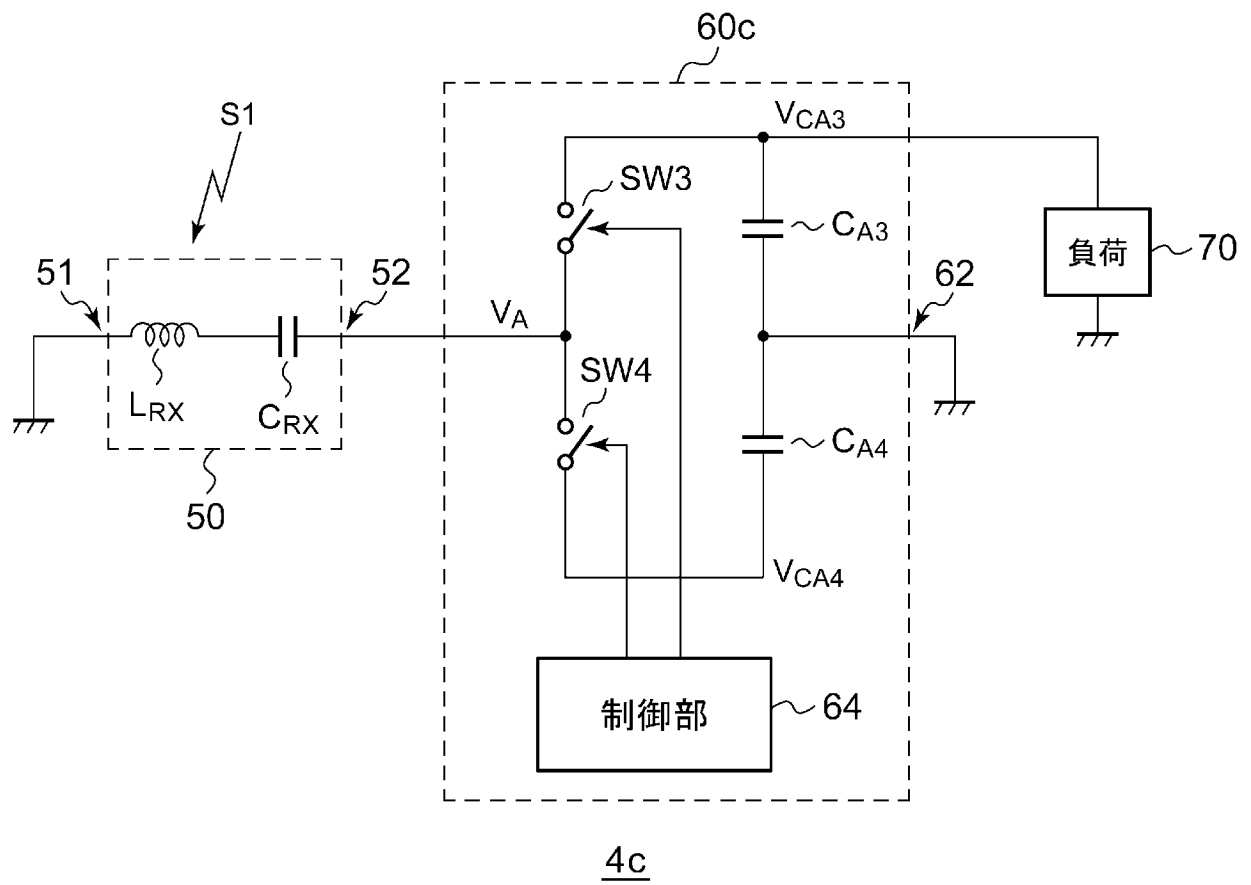
[図16]



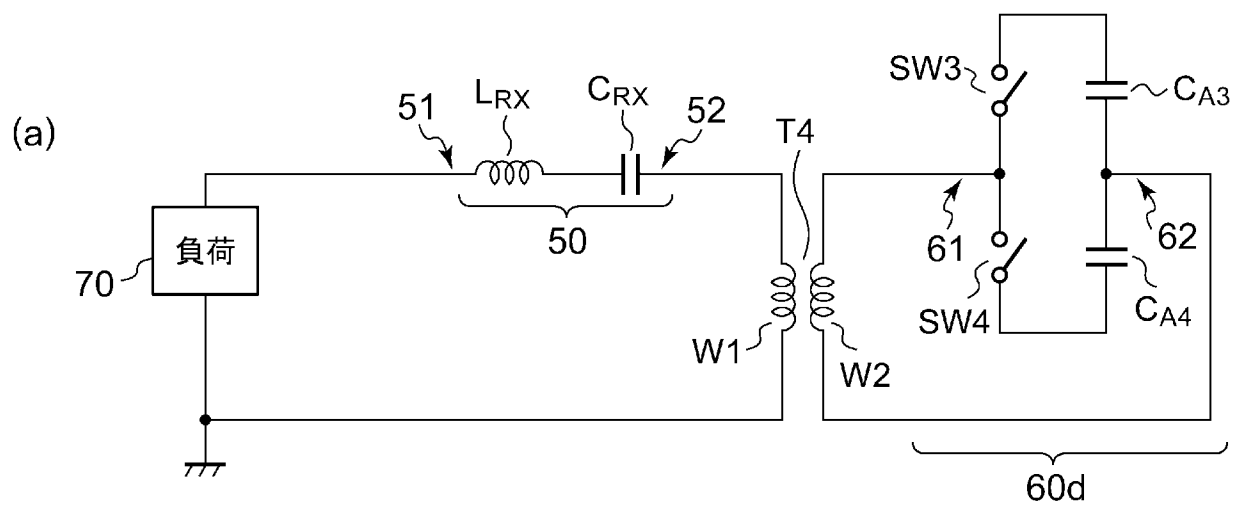
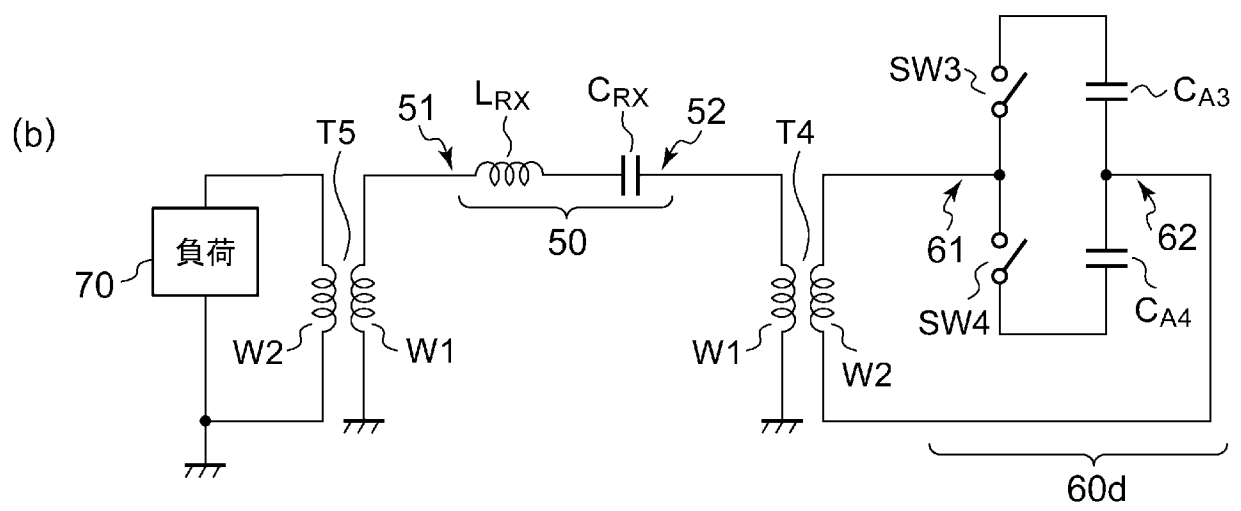
[図17]



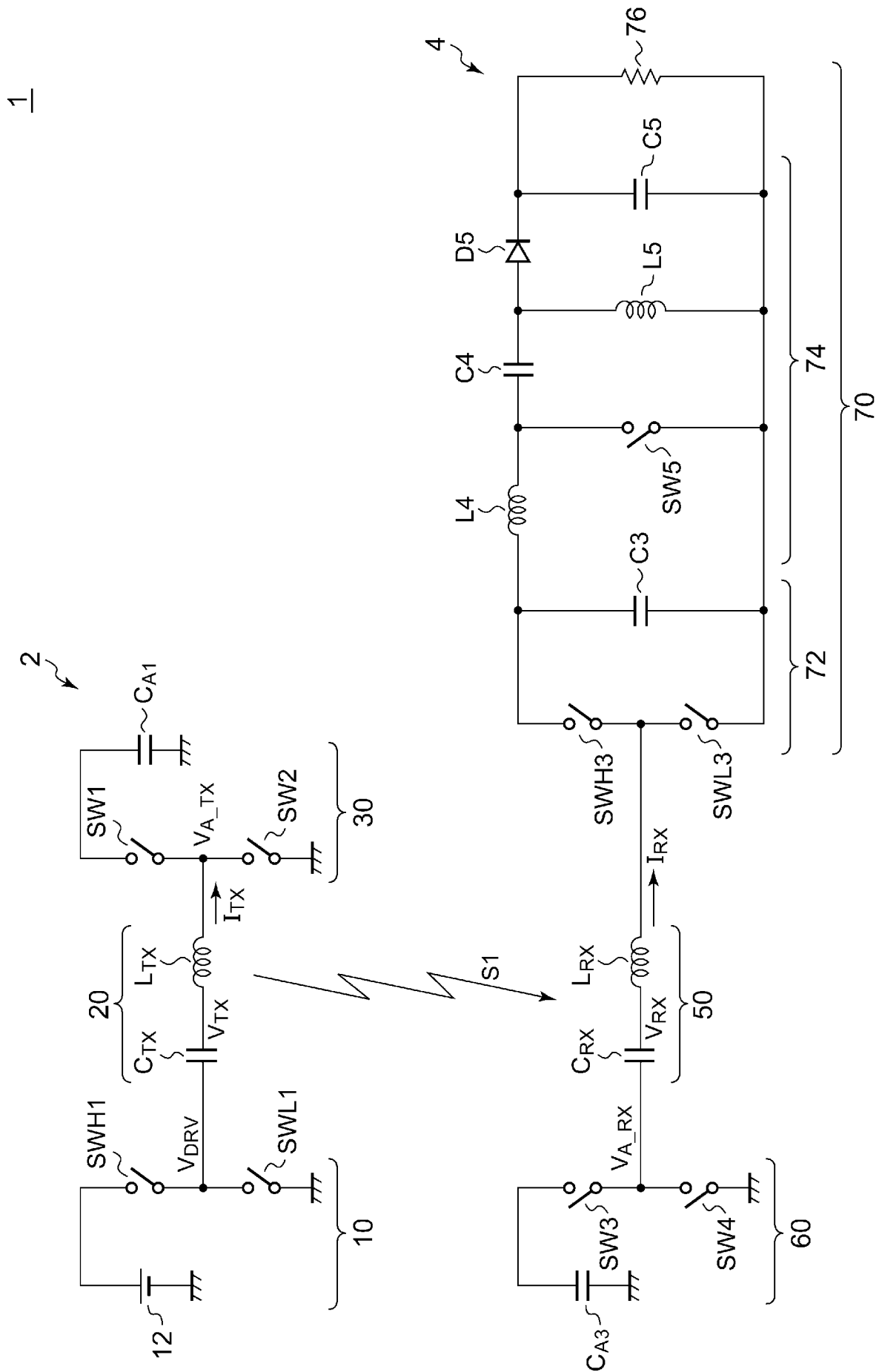
[図18]



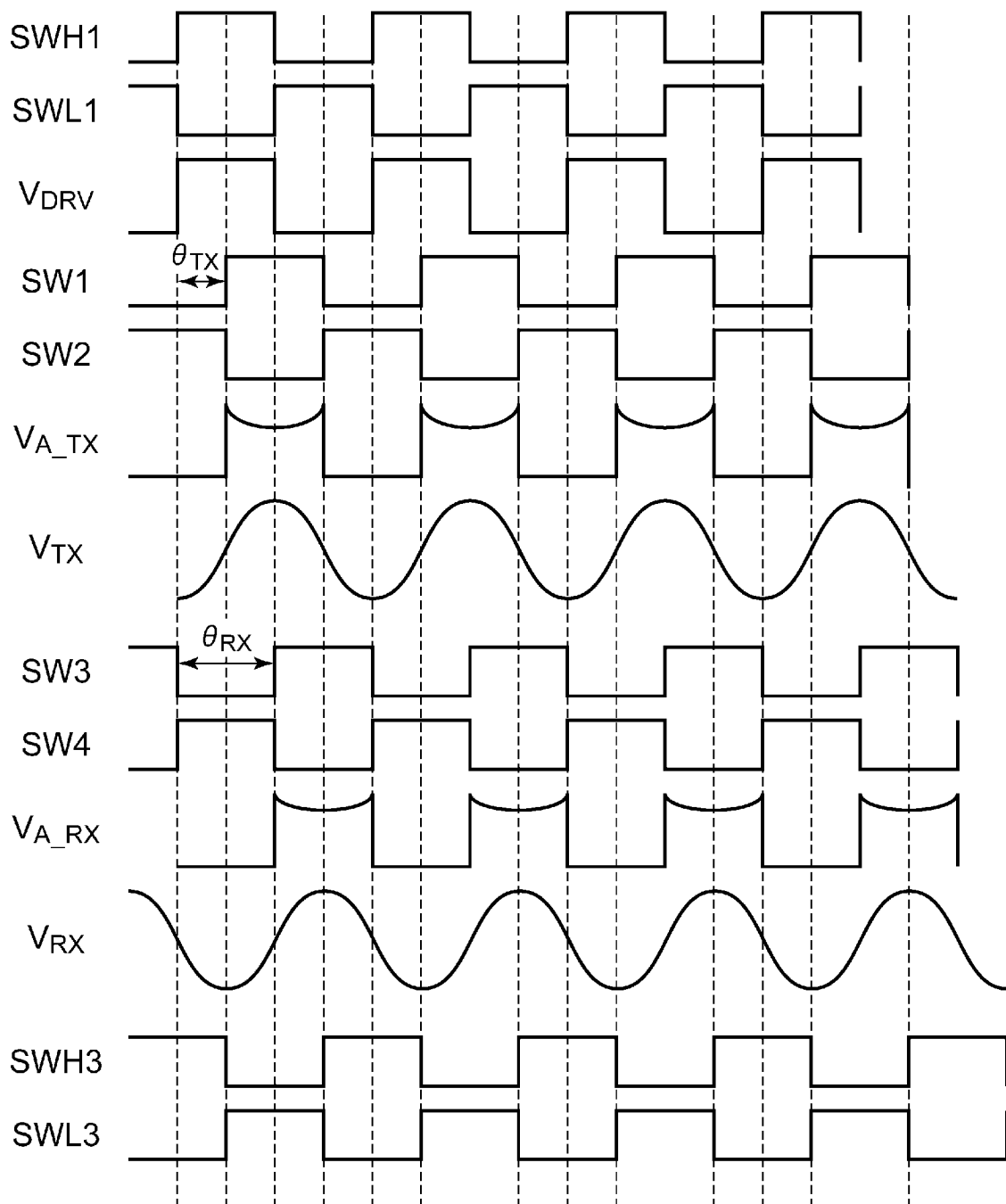
[図19]

4d4e

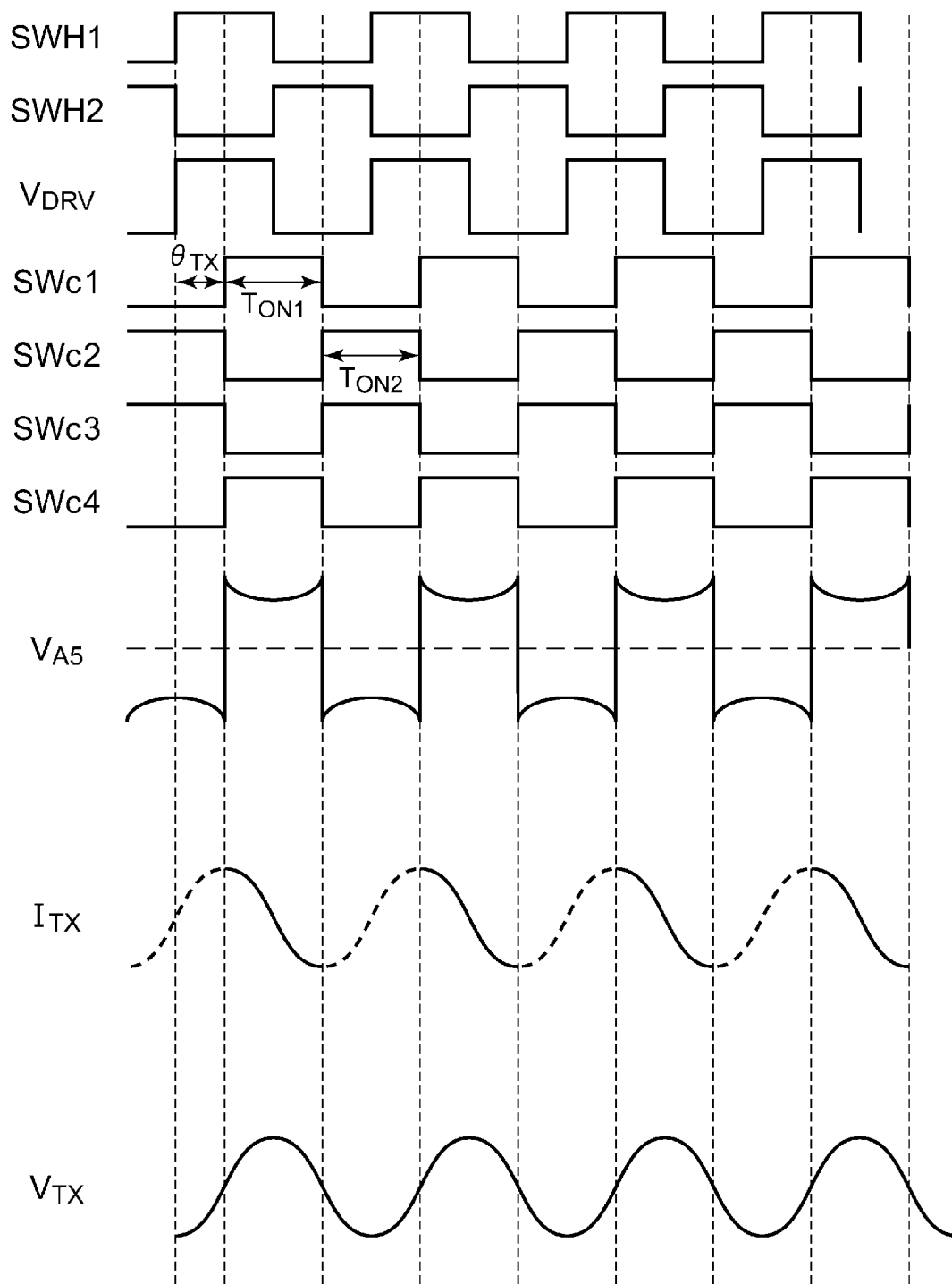
[図20]



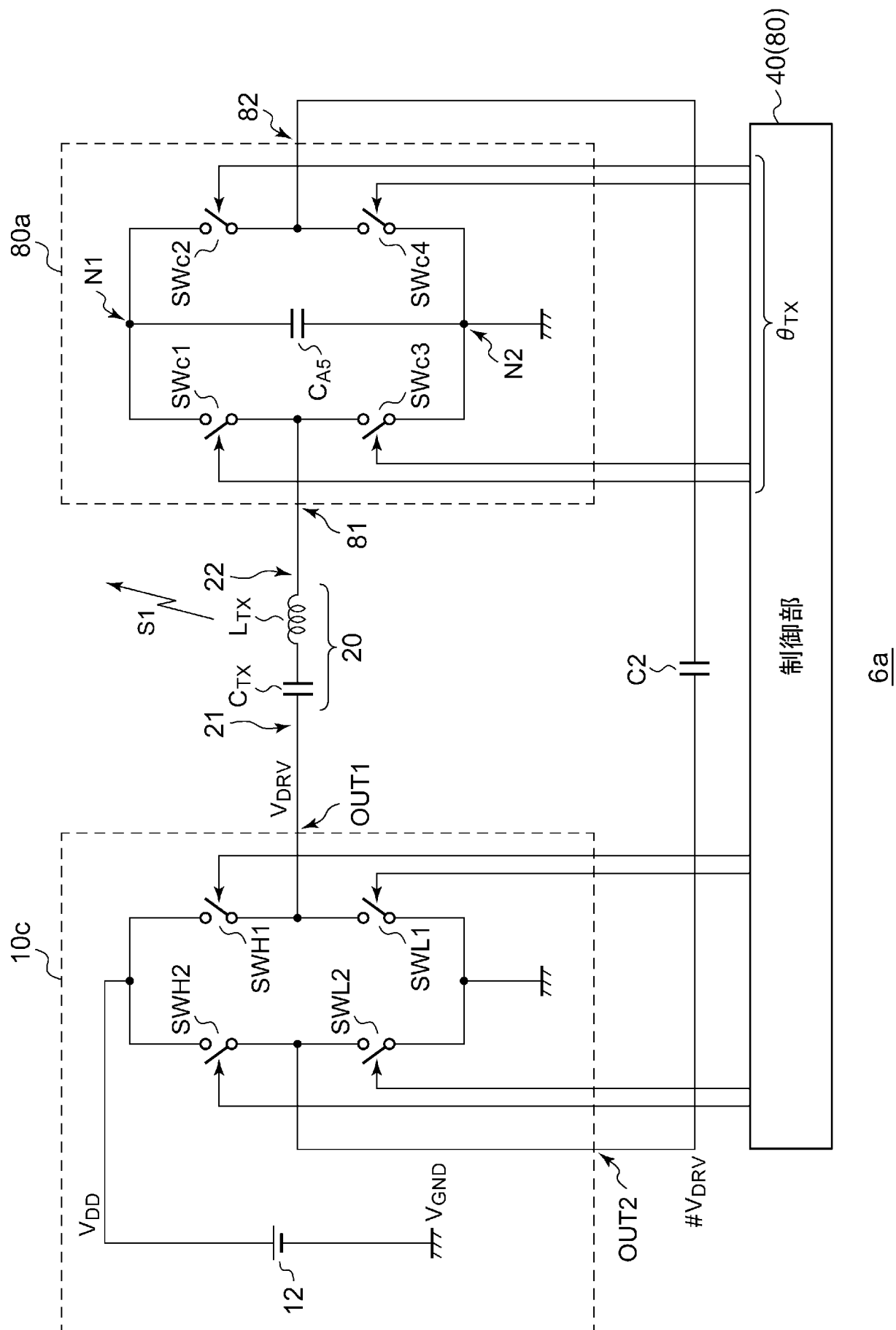
[図21]



[図23]

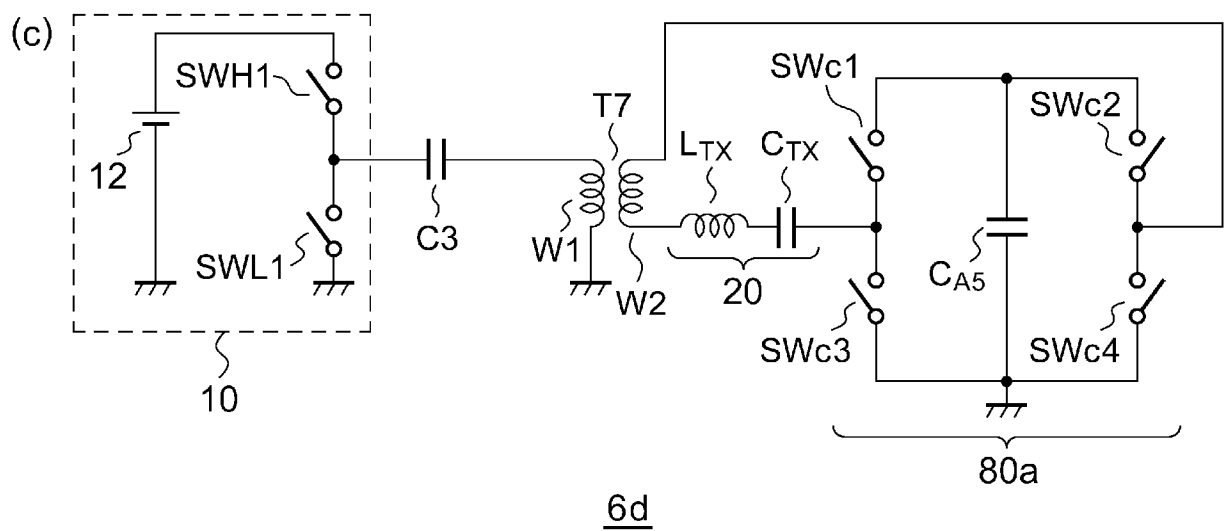
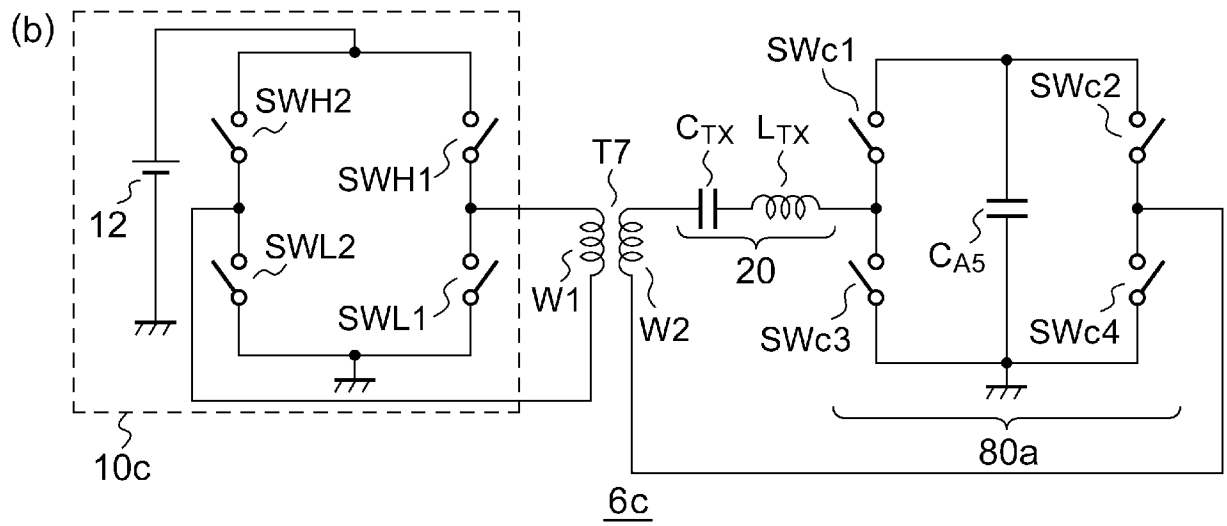
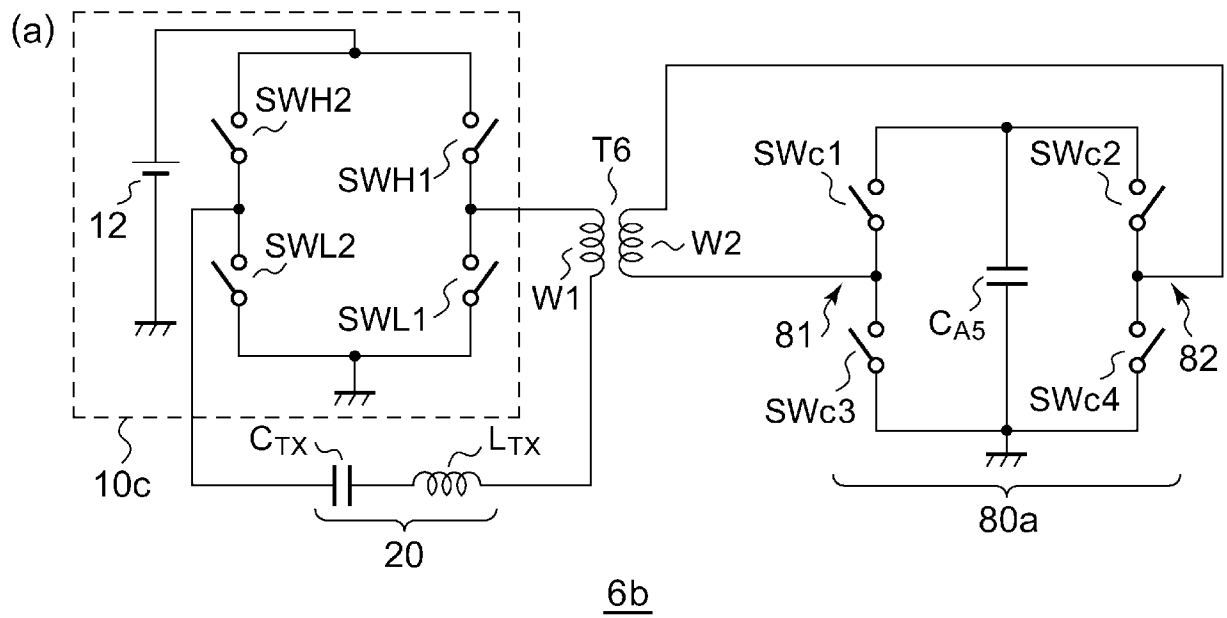


[図24]

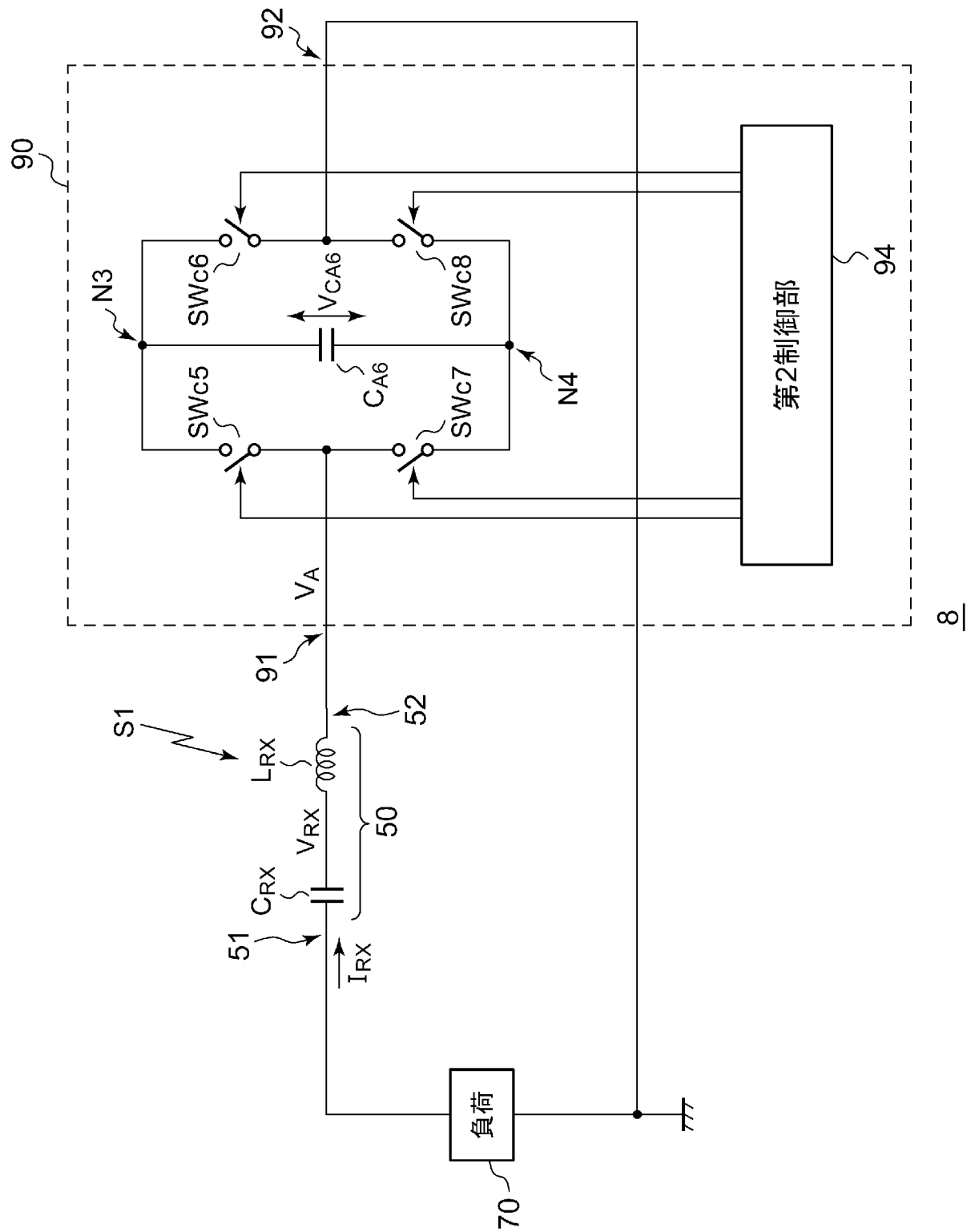


6a

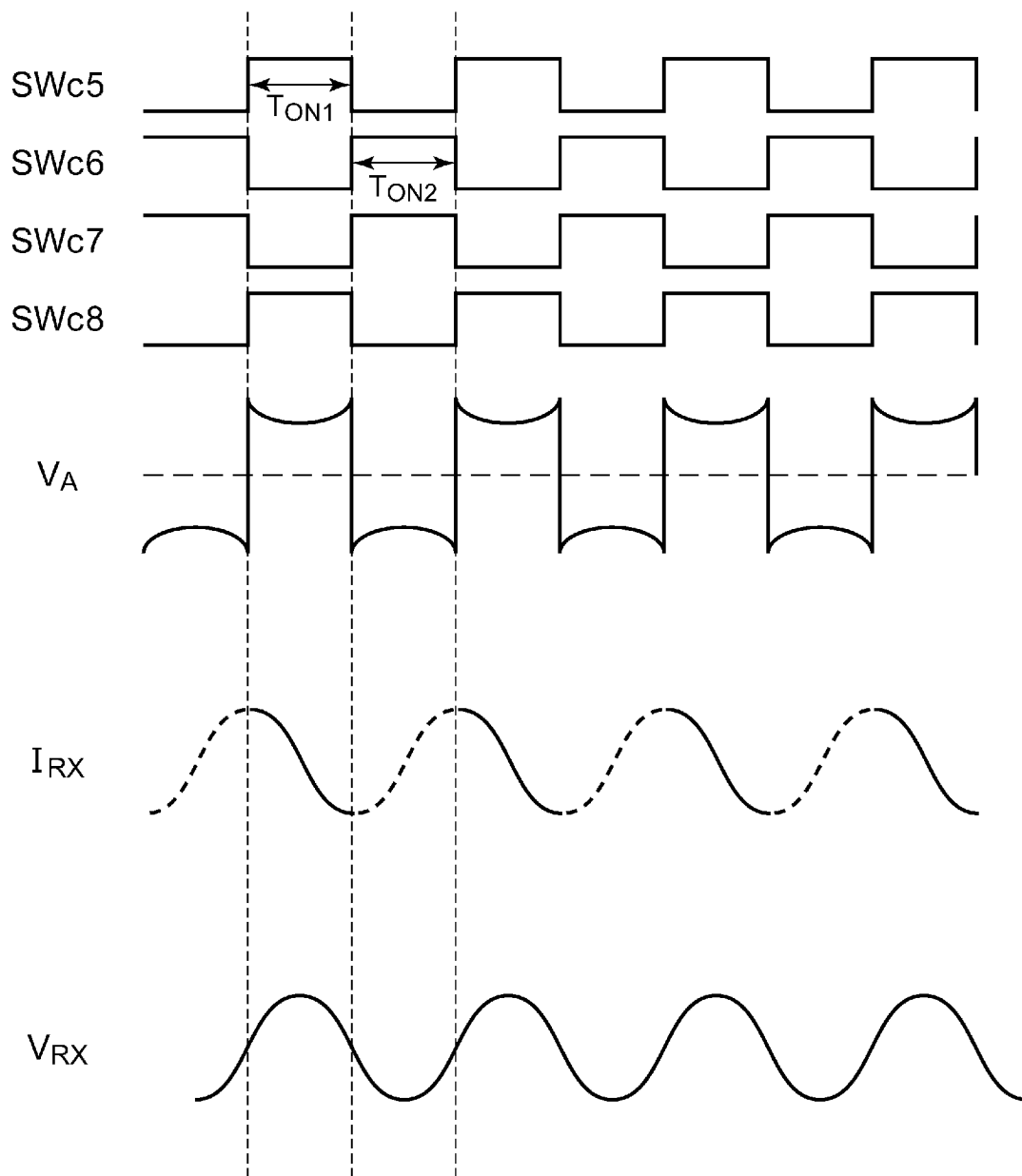
[図25]



[図26]

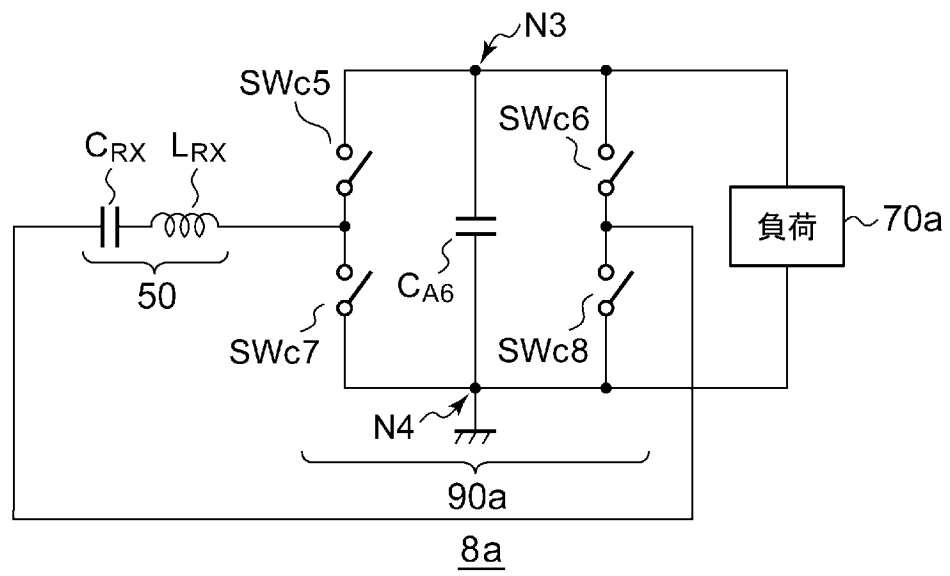


[図27]

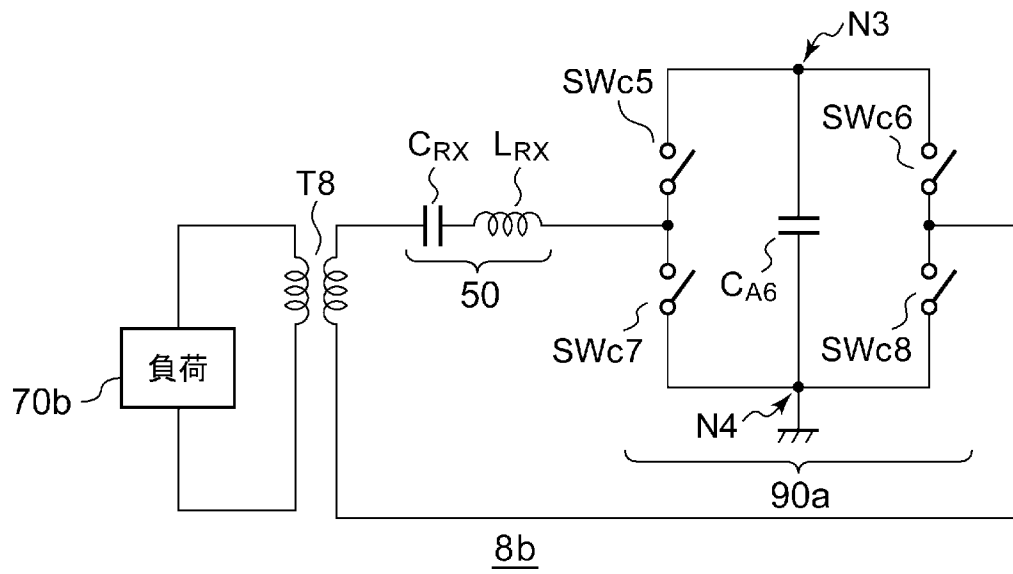


[図28]

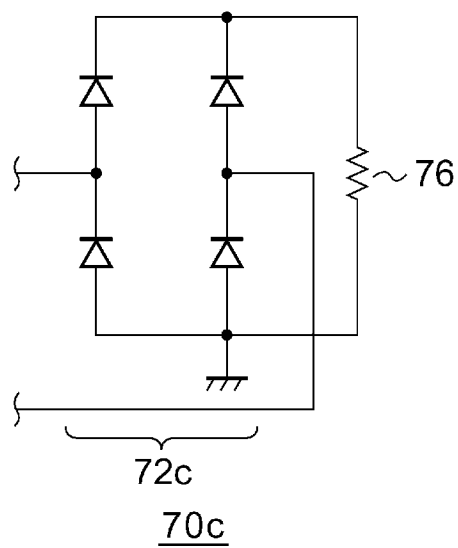
(a)



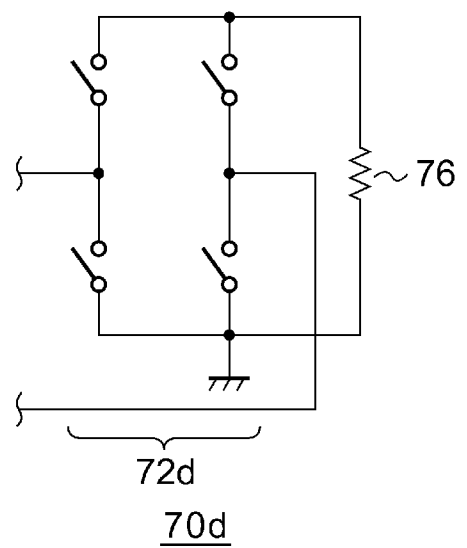
(b)



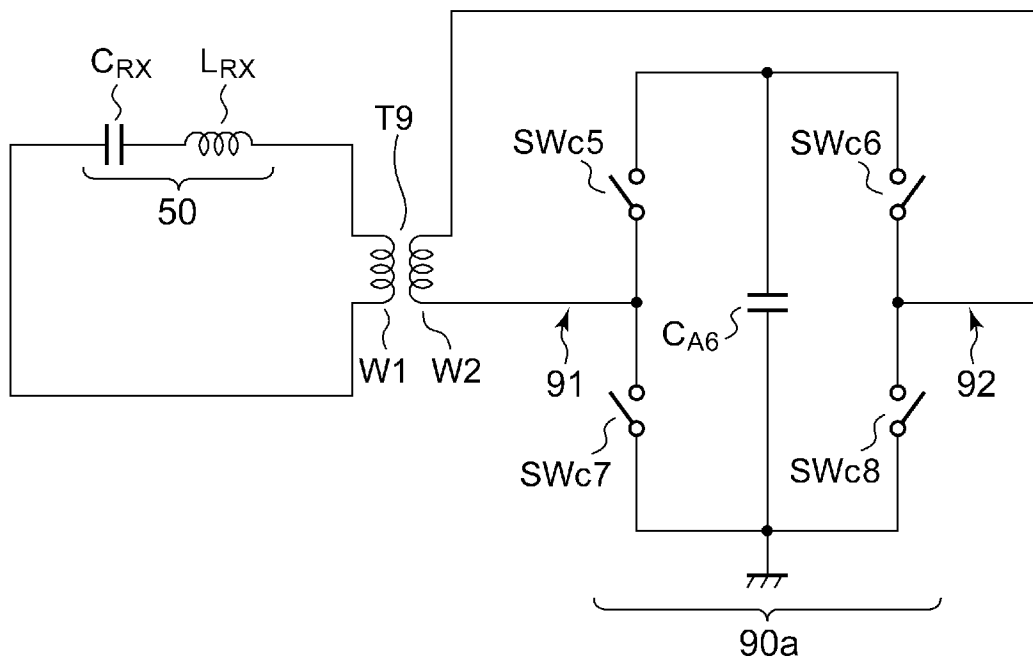
(c)



(d)



[図29]

8c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/003190

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J17/00 (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)

H02J17/00

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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.
Y A	JP 2008-104295 A (Voltex Corp.), 01 May 2008 (01.05.2008), paragraphs [0006] to [0012], [0017] to [0022]; fig. 1, 3, 4, 6 (Family: none)	1, 2, 8-15, 23-32 3-7, 16-22
Y A	JP 2011-44036 A (Tokyo Institute of Technology), 03 March 2011 (03.03.2011), entire text; fig. 1 to 11 (Family: none)	1, 2, 8-15, 23-32 3-7, 16-22
Y A	JP 2007-252049 A (Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.), 27 September 2007 (27.09.2007), paragraphs [0009] to [0016]; fig. 2 to 5 (Family: none)	1, 2, 8-15, 23-32 3-7, 16-22



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
25 July, 2012 (25.07.12)Date of mailing of the international search report
07 August, 2012 (07.08.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/003190

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-101575 A (TDK Corp.), 19 May 2011 (19.05.2011), paragraphs [0024] to [0060]; fig. 1 to 4 & US 2011/0080054 A1 & EP 2309620 A2 & CN 102035266 A	8, 12, 24, 25
P, X	JP 2011-239655 A (MERSTech Inc.), 24 November 2011 (24.11.2011), entire text; fig. 1 to 8 & WO 2011/142440 A1	14, 15, 23, 27, 31, 32

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02J17/00(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（I P C））

Int.Cl. H02J17/00

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	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012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
Y A	JP 2008-104295 A（株式会社ボルテックス）2008.05.01, 段落【0006】－【0012】、【0017】－【0022】、 第1, 3, 4, 6図（ファミリーなし）	1, 2, 8-15, 23- 32 3-7, 16-22
Y A	JP 2011-44036 A（国立大学法人東京工業大学）2011.03.03, 全文, 第1－11図（ファミリーなし）	1, 2, 8-15, 23- 32 3-7, 16-22

☒ 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
「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
「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）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.07.2012

国際調査報告の発送日

07.08.2012

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/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）

早川 卓哉

電話番号 03-3581-1101 内線 3568

5 T

9295

C (続き) . 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
Y A	JP 2007-252049 A (東芝三菱電機産業システム株式会社) 2007.09.27, 段落【0009】－【0016】, 第2－5図 (ファミリーなし)	1, 2, 8-15, 23-32 3-7, 16-22
Y	JP 2011-101575 A (TDK株式会社) 2011.05.19, 段落【0024】－【0060】, 第1－4図 & US 2011/0080054 A1 & EP 2309620 A2 & CN 102035266 A	8, 12, 24, 25
P, X	JP 2011-239655 A (株式会社MERSTech) 2011.11.24, 全文, 第1－8図 & WO 2011/142440 A1	14, 15, 23, 27, 31, 32