

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6849682号
(P6849682)

(45) 発行日 令和3年3月24日(2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月8日(2021.3.8)

(51) Int.Cl.	F 1
H03F 3/24 (2006.01)	H03F 3/24
H03F 1/02 (2006.01)	H03F 1/02
H03F 3/60 (2006.01)	H03F 3/60

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2018-530551 (P2018-530551)
(86) (22) 出願日	平成28年11月16日 (2016.11.16)
(65) 公表番号	特表2019-505112 (P2019-505112A)
(43) 公表日	平成31年2月21日 (2019.2.21)
(86) 國際出願番号	PCT/US2016/062131
(87) 國際公開番号	W02017/105732
(87) 國際公開日	平成29年6月22日 (2017.6.22)
審査請求日	令和1年10月28日 (2019.10.28)
(31) 優先権主張番号	62/266,747
(32) 優先日	平成27年12月14日 (2015.12.14)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)
(31) 優先権主張番号	15/152,660
(32) 優先日	平成28年5月12日 (2016.5.12)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)

(73) 特許権者	507364838 クアルコム、インコーポレイテッド アメリカ合衆国 カリフォルニア 921 21 サンディエゴ モアハウス ドラ イブ 5775
(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(74) 代理人	100163522 弁理士 黒田 晋平
(72) 発明者	ガブリエル・アイザック・メイヨー アメリカ合衆国・カリフォルニア・921 21・サン・ディエゴ・モアハウス・ドラ イブ・5775

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 E 2 級増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

増幅器であって、

スイッチを備える増幅器回路であって、前記スイッチが、入力信号に応答して出力信号を提供するように構成され、前記出力信号が、基本周波数の第1の出力信号と、前記基本周波数の第2高調波の第2の信号とを備え、前記入力信号が、公称25%オフ、75%オンサイクルに従って前記スイッチを制御するように構成される、増幅器回路と、

フィルタ回路と、

負荷回路であって、前記負荷回路の少なくとも一部が前記フィルタ回路と結合して、前記基本周波数の前記第2高調波で共振するように構成されたインピーダンス変換回路を形成するように構成される、負荷回路と

を備え、前記インピーダンス変換回路が、前記基本周波数で1/4波変換回路を形成するように構成される、増幅器。

【請求項 2】

前記負荷回路および前記フィルタ回路が、前記基本周波数の前記第2高調波で前記増幅器回路に対して正のリアクタンスを与える、請求項1に記載の増幅器。

【請求項 3】

前記増幅器回路が、前記基本周波数の前記第2高調波で前記フィルタ回路の一部の中に電流を循環するように構成される、請求項1に記載の増幅器。

【請求項 4】

10

20

前記増幅器回路が、前記基本周波数で前記負荷回路中に電流を循環させるように構成される、請求項1に記載の増幅器。

【請求項5】

所与の負荷において、前記基本周波数の第2高調波インピーダンスが前記増幅器回路に与えられる、請求項1に記載の増幅器。

【請求項6】

前記インピーダンス変換回路が、

前記基本周波数で前記負荷回路のインピーダンスを前記増幅器回路に与え、

前記基本周波数の前記第2高調波で前記負荷回路の前記インピーダンスを前記増幅器回路に与える、請求項1に記載の増幅器。 10

【請求項7】

前記増幅器回路の動作効率が実質的にゼロのリアクタンスポイントを中心とするよう¹⁰に、前記基本周波数の第2高調波で前記増幅器回路中を電流が循環するように構成される、請求項1に記載の増幅器。

【請求項8】

前記増幅器回路が、前記基本周波数で前記負荷回路中に電流を循環させるように構成され、

前記電流が充電エネルギーを提供するように構成される、請求項1に記載の増幅器。

【請求項9】

前記増幅器回路が、前記基本周波数で前記負荷回路中に電流を循環させるように構成され、 20

前記負荷回路が、前記入力信号に応答して1つまたは複数の受信機デバイスに電力をワイヤレス伝達するための磁場を発生させるように構成されたコイルを備える、請求項1に記載の増幅器。

【請求項10】

前記インピーダンス変換回路が、前記フィルタ回路および前記負荷回路の選択された誘導性および容量性成分を備える、請求項1に記載の増幅器。 20

【請求項11】

前記インピーダンス変換回路が、第1および第2のインダクタンスと、第1および第2のキャパシタンスと、前記基本周波数で共振するように構成された負荷インダクタンスとを備える、請求項10に記載の増幅器。 30

【請求項12】

前記インピーダンス変換回路が、第1および第2のインダクタンスと、前記基本周波数の前記第2高調波で共振するように構成されたキャパシタンスとを備える、請求項10に記載の増幅器。

【請求項13】

増幅器を動作させるための方法であって、

入力信号に応答して出力信号を提供するステップであって、前記出力信号が、基本周波数の第1の出力信号と、前記基本周波数の第2高調波の第2の信号とを備え、前記入力信号が、公称25%オフ、75%オンサイクルを有する、ステップと、 40

前記基本周波数で前記増幅器内に第1の電流を循環させるステップと、

前記基本周波数の第2高調波で前記増幅器内に第2の電流を循環させるステップとを含む方法。

【請求項14】

前記基本周波数の前記第2高調波で前記出力信号に正のリアクタンスを与えるステップをさらに含む、請求項13に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願

10

20

30

40

50

本出願は、その内容全体が参照により本明細書に組み込まれる、2015年12月14日に出願された「Class E2 Amplifier」という名称の米国仮特許出願第62/266,747号の利益を主張するものである。

【0002】

本開示は、一般に、電力増幅に関する。より詳細には、本開示は、ワイヤレス電力伝達を含む様々な用途において使用され得るE2級電力増幅器を対象とする。

【背景技術】

【0003】

増幅器および増幅器回路は多くの異なる用途で使用されている。効率的に動作し、負荷の変動に対して鈍感な(insensitive)増幅器および増幅器回路が望ましい。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

添付の特許請求の範囲内のシステム、方法およびデバイスの様々な実装形態は、それいくつかの態様を有し、それらのうちの単一の態様が、本明細書で説明する望ましい属性を単独で担うものではない。本明細書においては、添付の特許請求の範囲を限定することなしに、いくつかの顕著な特徴について説明する。

【0005】

本明細書で説明する主題の1つまたは複数の実装形態の詳細は、添付の図面および下記の説明内に記載される。他の特徴、態様、および利点は、説明、図面および特許請求の範囲から明らかになるであろう。以下の図の相対寸法は一定の縮尺で描かれていないことがあることに留意されたい。

20

【0006】

本開示の1つの態様は、スイッチを備える増幅器回路であり、スイッチは、入力信号に応答して出力信号を提供するように構成され、出力信号は、基本周波数の第1の出力信号と、基本周波数の第2高調波の第2の出力信号とを備え、入力信号は、公称25%オフ、75%オンサイクルに従ってスイッチを制御するように構成される、増幅器回路と、増幅器回路に与えられるインピーダンスを制御するように構成されたフィルタ回路と、少なくともその一部がフィルタ回路と結合して、基本周波数の第2高調波で共振するように構成されたインピーダンス変換回路を形成するように構成された負荷回路とを含む増幅器を提供する。

30

【0007】

本開示の別の態様は、ワイヤレス場を介して電力をワイヤレスに送信するための装置を提供し、装置は、スイッチを備える増幅器回路であり、スイッチは、入力信号に応答して出力信号を提供するように構成され、出力信号は、基本電力送信周波数の第1の出力信号と、基本電力送信周波数の第2高調波の第2の信号とを備え、入力信号は、公称25%オフ、75%オンサイクルに従ってスイッチを制御するように構成される、増幅器回路と、フィルタ回路と、負荷回路とを含み、フィルタ回路またはフィルタ回路に結合された負荷回路の少なくとも一部は、基本電力送信周波数の第2高調波で共振するように構成されたインピーダンス変換回路を形成する。

【0008】

40

本開示の別の態様は、増幅器を動作させるための方法を提供し、方法は、入力信号に応答して出力信号を提供するステップであり、出力信号は、基本周波数の第1の出力信号と、基本周波数の第2高調波の第2の信号とを備え、入力信号は、公称25%オフ、75%オンサイクルを有する、ステップと、基本周波数で増幅器内に第1の電流を循環させるステップと、基本周波数の第2高調波で増幅器内に第2の電流を循環させるステップとを含む。

【0009】

本開示の別の態様は、入力信号に応答して出力信号を提供するための手段であり、出力信号は、基本周波数の第1の出力信号と、基本周波数の第2高調波の第2の信号とを備え、入力信号は、公称25%オフ、75%オンサイクルを有する、手段と、基本周波数で増幅器内に第1の電流を循環させるための手段と、基本周波数の第2高調波で増幅器内に第2の電流を

50

循環させるための手段とを含むデバイスを提供する。

【0010】

本開示の別の態様は、負荷回路を駆動するための増幅器回路を提供し、増幅器回路は、入力信号に応答して導通状態と非導通状態とを切り替えるように構成されたスイッチング回路であり、スイッチング回路は、電圧源と直列のチョークインダクタと接地接続との間に電気的に接続され、入力信号に応答して出力信号を提供するように構成された、スイッチング回路と、スイッチング回路に電気的に結合され、入力信号を生成するように構成された入力回路であり、入力信号は、実質的に公称25%オフ、75%オンサイクルを有する基本周波数の発振信号となるように生成される、入力回路と、スイッチング回路とチョークインダクタとの間のノードと負荷回路との間に電気的に結合されたインピーダンス変換回路であり、インピーダンス変換回路の少なくとも一部は、基本周波数の第2高調波で共振する共振回路を形成するように構成される、インピーダンス変換回路とを含む。10

【0011】

図では、同様の参照番号は、その他の形で示されない限り、様々な図の全体を通して同様の部分を指す。「102a」または「102b」などの文字指定を伴う参照番号の場合、文字指定は、同じ図に存在する2つの同様の部分または要素を区別し得る。参照番号の文字指定は、参照番号が、すべての図において同じ参照番号を有するすべての部分を包含することが意図されるとき、省略されることがある。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】増幅器回路を含み得る回路の一部の概略図である。

【図2】ワイヤレス電力アプリケーションのためにE級増幅器回路を使用する送信回路を示すブロック図である。

【図3】ワイヤレス電力アプリケーションのためにF級増幅器回路を使用する送信回路を示すブロック図である。

【図4】E2級増幅器回路を使用する回路の例示的な実施形態を示すブロック図である。

【図5 A】E級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図である。

【図5 B】E2級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図である。

【図6】E級およびE2級増幅器回路の理論的な100%効率の輪郭を比較したグラフ図である。30

【図7】図4のE2級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図である。

【図8】E級増幅器の負荷抵抗および共振器インピーダンスに応じた増幅器回路に与えられるインピーダンスZloadの大きさを示すグラフ図である。

【図9】E2級増幅器の負荷抵抗および共振器インピーダンスに応じた増幅器回路に与えられるインピーダンスZloadの大きさを示すグラフ図である。

【図10】ワイヤレス電力送信機におけるE2級増幅器回路を動作させるための方法の例示的な実施形態を示すフローチャートである。

【図11】ワイヤレス電力送信機におけるE2級ドライバ回路を動作させるための装置の機能ブロック図である。

【図12】例示的な実施形態を実施することができる例示的なワイヤレス電力伝達システムの機能ブロック図である。40

【図13】様々な例示的な実施形態による、図12のワイヤレス電力伝達システムで使用され得るワイヤレス電力伝達システムにおける例示的な構成要素の機能ブロック図である。

【図14】例示的な実施形態による、送信アンテナまたは受信アンテナを含む、図13の送信回路または受信回路の一部の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

図面に示す様々な特徴は、一定の縮尺で描かれていないことがある。したがって、様々な特徴の寸法は、明快にするために任意に拡大または縮小され得る。さらに、図面のいくつかは、所与のシステム、方法、またはデバイスの構成要素のすべてを示してはいないこ50

とがある。最後に、同様の参照番号が、明細書および図全体にわたって同様の特徴を表すために使用され得る。

【0014】

添付の図面とともに以下に記載される詳細な説明は、本発明の例示的な実施形態の説明として意図されており、本発明が実践され得る唯一の実施形態を表すようには意図されていない。本説明全体にわたって使用される「例示的」という用語は、「一例、実例、または例示としての役割を果たす」ことを意味し、必ずしも、他の例示的な実施形態よりも好ましいまたは有利であると解釈されるべきではない。詳細な説明は、本発明の例示的な実施形態の完全な理解を与えるための具体的な詳細を含む。場合によっては、いくつかのデバイスがプロック図の形式で示される。

10

【0015】

本説明では、「アプリケーション」という用語は、オブジェクトコード、スクリプト、バイトコード、マークアップ言語ファイル、およびパッチなど、実行可能コンテンツを有するファイルをも含み得る。さらに、本明細書で言及する「アプリケーション」は、開かれる必要があり得るドキュメント、またはアクセスされる必要がある他のデータファイルなど、本質的に実行可能でないファイルをも含み得る。

【0016】

本説明で使用される場合、「構成要素」、「データベース」、「モジュール」、「システム」などの用語は、ハードウェア、ファームウェア、ハードウェアとソフトウェアとの組合せ、ソフトウェア、または実行中のソフトウェアのいずれかのコンピュータ関連エンティティを指すことが意図される。たとえば、構成要素は、限定はしないが、プロセッサ上で実行されるプロセス、プロセッサ、オブジェクト、実行可能ファイル、実行のスレッド、プログラム、および/またはコンピュータであってもよい。例として、コンピューティングデバイス上で実行されるアプリケーションとコンピューティングデバイスの両方が構成要素であってもよい。1つまたは複数の構成要素は、プロセスおよび/または実行のスレッド内に存在してもよく、構成要素は、1つのコンピュータ上に局在化されてもよく、および/または2つ以上のコンピュータ間に分散されてもよい。さらに、これらの構成要素は、様々なデータ構造をその中に記憶した様々なコンピュータ可読媒体から実行することができる。構成要素は、1つまたは複数のデータパケット(たとえば、ローカルシステム、分散システムの中の別の構成要素と、かつ/またはインターネットなどのネットワークにわたって、信号により他のシステムと対話する1つの構成要素からのデータなど)を有する信号などに従って、ローカルおよび/または遠隔のプロセスにより通信してもよい。

20

【0017】

本開示は、波形要件を満たすために、入力信号の基本周波数の代わりに入力信号の第2高調波を利用するように実装することができるE2級増幅器と呼ばれる新しいクラスの増幅器を記載している。

【0018】

いくつかの適用例では、「E級」増幅器回路と呼ばれる増幅器回路を使用して負荷を駆動する。たとえば、いくつかのワイヤレス電力/充電システムは、E級増幅器回路を使用して、1つまたは複数の受信機によってワイヤレス結合するためのエネルギーを出力し得る送信アンテナを駆動し得る(たとえば、電力を誘導結合するための磁場を発生させるために、コイルなどの送信アンテナを交流で駆動することを介して)。より詳細には、一例として、ワイヤレス充電システムは、共振またはその近くで同調された送信コイルおよび受信コイルを使用することによって、比較的高い結合を達成する。送信コイルおよび受信コイルを共振周波数に同調させることによって、デバイス配置の自由度またはデバイスサイズの自由度を犠牲にすることなく、比較的高い電力伝達効率が可能になる。さらに、変動する配置または他の変化する環境条件による結合および離調効果の広い変動に対応しながら、十分な受信機電力出力を維持することが望ましい。変動する結合および離調効果は、送信アンテナにおけるインピーダンスおよび他の特性の変化を引き起こす。

30

【0019】

40

50

これらのインピーダンスの変化は、送信アンテナを駆動するE級増幅器回路などの回路に反映/提示される。これは、様々な動作環境においてそのような負荷または他の同様の負荷を効率的に駆動するためのE級増幅器回路の設計を困難にする可能性がある。たとえば、E級増幅器は、増幅器がある範囲の効率内にある限定されたリアクタンス範囲を有し得る。リアクタンスの範囲の制限は、負荷からの反映されたインピーダンスに少なくとも部分的に起因し、電力増幅器のドライバ回路を形成するトランジスタにおける送信波形にかなり影響を及ぼす。

【 0 0 2 0 】

切替え可能なまたは調整可能な直列リアクタンスシフトネットワークを使用して、狭いリアクタンス範囲にわたって電力増幅器を動作させることによって、限定されたリアクタンス範囲を少なくともいくぶん緩和することができる。しかしながら、この解決策は、構成要素の数を増加させ、増幅器のコストを増加させるか、または増幅器回路を構成するための他のトレードオフを提示する可能性がある。10

【 0 0 2 1 】

例示的な実施形態では、波形要件を満たすために、送信信号の基本周波数の代わりに送信信号の第2高調波を利用するため、E2級増幅器と呼ばれる新しいクラスの増幅器を実装することができる。波形要件を満たすこととは、ゼロ電圧スイッチング(ZVS)条件を満たすために増幅器の波形出力がゼロに戻ることを意味する。たとえば、波形要件を満たすために電力送信信号の第2高調波を使用することの1つの利点は、ZVS条件が、E級またはF級増幅器の他の構成と比較して大幅に広い範囲の負荷インピーダンスにわたって満たされ得ることである。20

【 0 0 2 2 】

図1は、増幅器回路を含み得る回路100の一部の概略図である。回路100は、方形波を受信し、負荷回路150に与えられるべき正弦波を出力するように構成され得るスイッチング増幅器であり得る増幅器回路124を含み得る。増幅器回路124は、E級増幅器として示されているが、以下により詳細に説明するように、E級増幅器の動作は、増幅器の性能を向上させるために、本明細書で説明する例示的な実施形態による本明細書ではE2級と呼ばれるものに変更されてもよい。増幅器回路124は、発振器(図示せず)からの入力信号102によって駆動されてもよい。また、増幅器回路124は、負荷回路150を通して送出され得る最大電力を制御するように構成された駆動電圧 V_D を供給され得る。高調波を除去または低減するために、回路100は、フィルタ回路126を含み得る。フィルタ回路126は、3極(キャパシタ134、インダクタ132、およびキャパシタ136)ローパスフィルタ回路126、または任意の他のフィルタ回路であってもよい。30

【 0 0 2 3 】

フィルタ回路126によって出力された信号は、負荷回路150に与えられ得る。ワイヤレス電力伝達の実施形態では、負荷回路はアンテナ114を備え得る。負荷回路150は、増幅器回路124によって与えられるフィルタ処理済み信号の周波数において共振し得る、(たとえば、アンテナのキャパシタンスまたは追加のキャパシタ成分に起因し得る)キャパシタンス120および(たとえば、アンテナのインダクタンスであり得る)インダクタンスを有する直列共振回路を含み得る。負荷回路150の負荷は、可変抵抗器122によって表され得る。しかしながら、負荷回路150は、増幅器回路124によって駆動される様々な回路のうちのいずれか1つであってもよく、負荷回路150において示される構成要素は、図1に関して説明するためのものであることを諒解されよう。さらに、負荷回路が磁場を発生させるための共振器であり得るワイヤレス電力アプリケーションでは、可変抵抗器122によって表される負荷回路の負荷は、磁場を介して電力を結合し、したがって共振器におけるインピーダンスを変化させる1つまたは複数の受信機を介して負荷回路に与えられる負荷の変動であり得る。40

【 0 0 2 4 】

図2は、ワイヤレス電力アプリケーションのためにE級増幅器回路を使用する送信回路200を示すブロック図である。送信回路200は、増幅器回路210と、インピーダンス変換回路21250

30と、負荷回路240とを備える。送信回路200は、高調波要素220も備える。基本周波数f1で動作するように構成されたE級増幅器回路210において、高調波要素220は、基本周波数f1のすべての高調波で開回路である機能222によって一般に特徴付けることができる。一例として、基本周波数f1は、たとえば6.78MHzの基本電力伝達周波数であり得る。

【0025】

増幅器回路210は、ノード211に結合されたスイッチ216を備える。ノード211はまた、インダクタ214を介して電圧源Vpa(電力増幅器)212に結合される。インダクタ214は、Lchok eと呼ばれることがある。スイッチ216は、半導体スイッチを備え、様々な技術のうちのいずれかを使用して作製された1つまたは複数のトランジスタを備え得る。例示的な実施形態では、ダイオード217は、スイッチ216を備えるトランジスタのボディダイオードを備え得る。増幅器回路210は、シャントキャパシタンス218も備え得る。キャパシタンス218は、スイッチ216のキャパシタンスを備え得るか、スイッチ216のキャパシタンスよりも大きいキャパシタンスを備え得るか、または可変キャパシタンスを備え得る。キャパシタンス218は、シャントキャパシタンスCsと呼ばれる場合がある。10

【0026】

インピーダンス変換回路230は、インダクタL1 232と、第1のキャパシタC1 236と、第2のキャパシタC2 234と、インダクタ242の一部または全部とを備える。

【0027】

負荷回路240は、インダクタ242の一部または全部および抵抗器244を備える。負荷回路240は、共振回路の一部または全部を備え得、共振回路として構成されている場合、共振器とも呼ばれ得る。負荷回路240が共振回路の一部である場合、インダクタ242はLresと呼ばれ得、抵抗器244はRresと呼ばれ得る。抵抗器244は、インダクタ242の抵抗、ならびに負荷回路240の磁気的に結合された負荷を備え得る。20

【0028】

入力信号215は、スイッチ216に供給されてもよい。E級の動作によれば、入力信号215は、入力信号215のサイクルの約50%、オフ(開または非導通)であるようにスイッチ216を制御し、入力信号215のサイクルの約50%、オン(閉または導通)であるようにスイッチ216を制御し得る信号を備え得る。このオン/オフサイクルは、公称50%デューティサイクルと呼ぶこともできる。E級増幅器回路210は、基本周波数f1で誘導性であり、基本周波数f1のすべての高調波で増幅器回路210に高インピーダンスを与える最適負荷Zloadを有することによって特徴づけられ得る。基本周波数f1の高調波で一般に開く機能222は、一般に、共振ネットワークの使用によって達成される。増幅器回路210の波形は、50%のオン/オフサイクルで半正弦波に近似する。30

【0029】

図3は、ワイヤレス電力アプリケーションのためにF級増幅器回路を使用する送信回路300を示すプロック図である。送信回路300は、増幅器回路310と、インピーダンス変換回路330と、負荷回路340とを備える。送信回路300は、高調波要素320も備える。基本周波数f1で動作するように構成されたF級増幅器回路310において、高調波要素320は、基本周波数f1の奇数高調波における開回路である機能322と、偶数高調波エネルギーをスイッチに反射する、基本周波数f1の偶数高調波における短絡回路である機能323とによって一般に特徴づけることができる。基本周波数f1は、たとえば6.78MHzの基本電力伝達周波数であり得る。40

【0030】

増幅器回路310は、ノード311に結合されたスイッチ316を備える。ノード311はまた、インダクタ314を介して電圧源Vpa(電力増幅器)312に結合される。インダクタ314は、Lchok eと呼ばれることがある。スイッチ316は、半導体スイッチを備え、様々な技術のうちのいずれかを使用して作製された1つまたは複数のトランジスタを備え得る。例示的な実施形態では、ダイオード317は、スイッチ316を備えるトランジスタのボディダイオードを備え得る。増幅器回路310は、シャントキャパシタンス318も備え得る。キャパシタンス318は、スイッチ316のキャパシタンスを備え得るか、スイッチ316のキャパシタンスよりも大き50

いキャパシタンスを備え得るか、または可変キャパシタンスを備え得る。キャパシタンス318は、シャントキャパシタンスCsと呼ばれる場合がある。

【0031】

インピーダンス変換回路330は、インダクタL1 332と、第1のキャパシタC1 336と、第2のキャパシタC2 334と、インダクタ342の一部または全部とを備える。

【0032】

負荷回路340は、インダクタ342の一部または全部および抵抗器344を備える。負荷回路340は、共振回路の一部または全部を備え得、共振回路として構成されている場合、共振器とも呼ばれ得る。負荷回路340が共振回路の一部である場合、インダクタ342はL_{res}と呼ばれ得、抵抗器344はR_{res}と呼ばれ得る。抵抗器344は、インダクタ342の抵抗、ならびに負荷回路340の磁気的に結合された負荷を備え得る。10

【0033】

入力信号315は、スイッチ316に供給されてもよい。F級の動作によれば、入力信号315は、入力信号315のサイクルの約50%、オフ(開または非導通)であるようにスイッチ316を制御し、入力信号315のサイクルの約50%、オン(閉または導通)であるようにスイッチ316を制御し得る信号を備え得る。F級増幅器回路310は、基本周波数f1で誘導性であり、基本周波数f1の奇数高調波で増幅器回路310に高インピーダンスを与え、基本周波数f1の偶数高調波で増幅器回路310に低インピーダンスを与える最適負荷Z_{load}を有することによって特徴づけられ得る。一般に奇数高調波で開回路である機能322、および一般に偶数高調波で短絡回路である機能323は、一般に共振ネットワークの使用によって達成される。増幅器回路310の波形は、50%オン/オフサイクルの方形波に近似する。20

【0034】

図4は、E2級増幅器回路を使用する回路400の例示的な実施形態を示すブロック図である。例示的な実施形態では、回路400は、ワイヤレス電力伝達アプリケーションのための送信回路の一部を備えるが、図4で説明した増幅器回路は、負荷変動の影響を最小限に抑えようとする、および第2高調波で主に正の負荷リアクタンスが望ましい任意の増幅器アプリケーションに適用可能である。「E2級増幅器回路」という用語は、「E2級ドライバ」または「E2級ドライバ回路」という用語と交換可能に使用される。

【0035】

送信回路400は、増幅器回路410と、インピーダンス変換回路430と、負荷回路440とを備える。送信回路400は、高調波要素420も備えているが、ただし、別個の物理的インダクタンス要素422として示されているが、実際の実装では、高調波要素420は、任意選択で、2つのインダクタンス422および432の合計を有する単一の要素としてインダクタ432のインダクタンスと直列に結合されるインダクタ422のインダクタンスも備え得る。例示的な実施形態では、たとえば、ワイヤレス電力アプリケーションの場合、基本周波数f1は、たとえば、6.78MHzの基本電力伝達周波数であり、その第2高調波f2は、13.56MHzの周波数であり得る。例示的な実施形態では、増幅器回路410は、基本周波数の第2高調波f2で動作するように構成されたE2級増幅器として構成され得る。他の基本周波数および第2高調波もまた企図されることを諒解されたい。30

【0036】

例示的な実施形態では、増幅器回路410は、ノード411に結合されたスイッチ416を備える。ノード411はまた、インダクタ414を介して電圧源V_{PA}(V電力増幅器)412に結合される。インダクタ414は、Lchokeと呼ばれることもある。例示的な実施形態では、スイッチ416は、半導体スイッチを備え、様々な技術のうちのいずれかを使用して作製された1つまたは複数のトランジスタを備え得る。増幅器回路410は、オプションのダイオード417およびシャントキャパシタンス418も備える。例示的な実施形態では、ダイオード417は、スイッチ416を備えるトランジスタのボディダイオードを備え得る。キャパシタンス418は、スイッチ416のキャパシタンスを備え得るか、スイッチ416のキャパシタンスよりも大きいキャパシタンスを備え得るか、または可変キャパシタンスを備え得る。例示的な実施形態では、キャパシタンス418はシャントキャパシタンスCsと呼ばれる場合がある。4050

【 0 0 3 7 】

例示的な実施形態では、インピーダンス変換回路430は、インダクタ422のインダクタンス、インダクタL1 432、第1のキャパシタC1 436、第2のキャパシタC2 434、およびインダクタ442の一部または全部とを備えるフィルタ回路を備え得る。

【 0 0 3 8 】

例示的な実施形態では、負荷回路440は、インダクタ442の一部または全部および抵抗器444を備える。例示的な実施形態では、負荷回路440は、共振回路の一部または全部を備え得、例示的な実施形態では、共振器とも呼ばれ得る。負荷回路440が共振回路の一部である例示的な実施形態では、インダクタ442はL_{res}と呼ばれ得、抵抗器444はR_{res}と呼ばれ得る。抵抗器444は、インダクタ442の抵抗、ならびに負荷回路440の磁気的に結合された負荷を備え得る。10

【 0 0 3 9 】

例示的な実施形態では、入力信号415は、スイッチ416に供給されてもよい。例示的な実施形態では、入力信号415は、入力信号415のサイクルの約25%、オフ(開または非導通)であるようにスイッチ416を制御し、入力信号415のサイクルの約75%、オン(閉または導通)であるようにスイッチ416を制御し得る信号を備え得る。これは公称25%デューティサイクルと呼ばれる。公称25%デューティサイクルは、スイッチ416が入力信号415のサイクルの約20%以下でオフ(開または非導通)であり、スイッチ416が入力信号415のサイクルの約70%以上でオン(閉、または導通)であり得るデューティサイクルを含み得る。例示的な実施形態では、入力信号415は、基本電力送信周波数f1の送信信号を備え得る。20

【 0 0 4 0 】

例示的な実施形態では、インダクタ422でインターフェースするZ_{load}で示されるインピーダンスは、基本周波数f1のおよそ第2高調波(f2)で高調波要素420がキャパシタンス418と共に振る動作状態を表す。例示的な実施形態では、基本周波数f1は6.78MHzであり得、その第2高調波は13.56MHzの周波数であり得る。

【 0 0 4 1 】

例示的な実施形態では、インダクタ422、インダクタL1 432、第1のキャパシタC1 436、第2のキャパシタC2 434を、インダクタ442の少なくとも一部とともに備える回路は、基本周波数f1で1/4波変換回路451を形成する。さらに、1/4波変換回路451も、増幅器回路410内のキャパシタンス418とともに、基本周波数f1のおよそ第2高調波f2で共振回路を形成する。この第2高調波共振は、公称25%スイッチングポイントでゼロ電圧スイッチング(ZVS)条件を満たすのに実質的に寄与する。30

【 0 0 4 2 】

例示的な実施形態では、基本周波数f1の第2高調波f2で、インダクタ442は、主に正のリアクタンスとして特徴付けられる。基本周波数f1の第2高調波f2におけるインピーダンスと比較すると、インダクタL1 432のリアクタンスは2倍になり、第1のキャパシタC1 436のリアクタンスは半分になり、増幅器回路410と負荷回路440との結合は、増幅器回路410に与えられるインピーダンス変動に関して大幅に減少する。したがって、所与の負荷において、増幅器回路410に与えられるインピーダンスは、f2でのインピーダンスによって支配され、1/4波変換回路451における負荷変動によって影響を受けにくい。インピーダンス変換回路430は、基本周波数f1で共振器のインピーダンスをZ_{LOAD}に強く結合するが、たとえばf2などの高調波では共振器のインピーダンスをZ_{LOAD}に弱く結合する。これによって、第2高調波電流は、共振器のインピーダンスに対して比較的鈍感になり、結果として、スイッチの波形は基本周波数f1での出力負荷の変動に対してそれほど敏感でなくなる。40

【 0 0 4 3 】

代表的なインダクタ422のインダクタンスは、基本周波数f1の第2高調波f2で1/4波変換回路451の全インダクタンスの一部として結合され得、したがって、およそ公称25%オフ/7.5%オンサイクルで、基本周波数f1の第2高調波f2で電流が送信回路400中を循環する。第2高調波f2で送信回路400中を循環する電流は、電流ループ462によって表され、それによって、f2の電流は、キャパシタ418、インダクタ432、およびキャパシタ436を備える回路を50

実質的に通過する。電流ループ462によって示される f_2 の電流は、抵抗器444に実質的に減衰され、したがって、基本周波数の第2高調波 f_2 における出力エネルギーを最小にする。

【0044】

例示的な実施形態では、キャパシタ418、インダクタ422、インダクタL1 432、および第1のキャパシタC1 436の値を基本周波数 f_1 の第2高調波 f_2 で共振するように選択することとともに、およそ公称25%オフ/75%オンサイクルを使用してスイッチ416を制御することによって、電流ループ462によって示される戻り電流が、第2高調波 f_2 で送信回路400中を蓄積エネルギーとして循環することを可能にする。第2高調波 f_2 で送信回路400中に戻り電流を循環させることは、効率を実質的に向上させ、E級またはF級増幅器のいくつかの他の構成と比較してかなり広いリアクタンス範囲を可能にする。第2高調波の電流 f_2 は、電流ループ462によって示されるように、主に送信回路400中を循環するが、電流は、基本周波数 f_1 でも送信回路400中を循環する。基本周波数 f_1 で送信回路400中を循環する電流は、電流ループ464によって表され、それによって、 f_1 の電流は、実質的に、キャパシタ418、インダクタ422、インダクタ432、キャパシタ434、インダクタ442、および抵抗器444を備える回路を通過する。このようにして、例示的な実施形態では、電流ループ464によって示される基本周波数 f_1 の電力送信信号は、インダクタ442および抵抗器444によってワイヤレスに送信される。10

【0045】

例示的な実施形態では、スイッチ416は、増幅器回路410を負荷回路440に最小限に結合する第2高調波 f_2 での共振が与えられ(インダクタ442または抵抗器444に電流を循環させない電流ループ462によって示される)、したがって、「ゼロ電圧スイッチング」品質と呼ばれるものでスイッチング波形を整形するのに役立つ。対照的に、 f_1 の電流成分は、 f_1 でRF電力を送出する目的で、出力に強く結合される(インダクタ442および抵抗器444に電流を循環させる電流ループ464によって示される)。位相的に、 f_2 電流成分は、主にキャパシタ436でスイッチ416に反射し戻され、したがって、電流ループ462内でスイッチ416の方に中程度に高いQ共振を形成し、インダクタ442および抵抗器444に向かって f_2 成分を著しく減衰させる。20

【0046】

E2級増幅器回路410は、基本周波数 f_1 で誘導性であり、基本周波数 f_1 の第2高調波 f_2 で最適負荷 Z_{load} を有することによって特徴づけられ得る。増幅器回路410の波形は、およそ公称25%オフ/75%オンサイクルで半正弦波に近似する。30

【0047】

図5Aは、例示的なE級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図500である。水平軸502は、右に向かって増加する時間を示し、垂直軸504は、ノード211(図2)における電圧を示す。波形506は、スイッチ216が開または非導通であるときのノード211での電圧を示す実線で示される第1の部分508を有し、スイッチ216が開いたままである場合のノード211での電圧を示す点線で示される第2の部分509を有する。スイッチ216の1サイクルのスイッチング期間は、参照番号511を使用して示されている。時間512は、スイッチ216が開または非導通から閉または導通に移行するスイッチング時間を示す。波形506の第2の部分509は、時間512においてスイッチ216が閉じられていない場合の電圧 V_{PA} に対する波形506の自然減衰を示す。波形516およびスイッチング期間521は、通常の動作としての波形516の部分を伴う次のサイクルのノード211での電圧を示す。波形506の第2の部分509は、基本周波数において、増幅器回路210からの実質的なエネルギーが負荷抵抗器244へと失われるので、 V_{PA} に対する比較的急速な減衰を示す可能性がある。40

【0048】

図5Bは、例示的なE2級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図550である。水平軸552は、右に向かって増加する時間を示し、垂直軸554は、ノード411(図4)における電圧を示す。波形556は、スイッチ416が開または非導通であるときのノード411での電圧を示す第1の部分558を有し、スイッチ416が開いたままである場合のノード411での電圧を示す第2の部分559を有する。スイッチ416の1サイクルのスイッチング期間は、参照番号561を使用して示50

されている。時間562は、スイッチ416が開または非導通から閉または導通に移行するスイッチング時間を示す。波形556の第2の部分559は、スイッチ416が時間562で閉じられていない場合の波形556の V_{PA} への減衰を示し、図5Aの波形506の第2の部分509と比較して比較的遅い時定数を示す。波形566およびスイッチング期間572は、通常の動作としての波形566の部分を伴う次のサイクルのノード411での電圧を示す。第2高調波f2での電流が負荷回路440に最小限に結合され、代わりに、上述のように増幅器回路410内で実質的に循環されるので、波形部分559の減衰が遅くなると、第2高調波(f2)における損失が低下することを示す。波形要件を満たすために基本周波数の第2高調波を使用し、ゼロ電圧スイッチング(ZVS)条件が、E級またはF級増幅器の他の構成と比較して大幅に広い範囲の負荷インピーダンスにわたって満たされるのを可能にすることによって、基本周波数の第2高調波で、最小の電力が図4のインダクタ442および抵抗器444によって表される負荷から失われるため、
10 上述したように、損失が少なく、 V_{PA} に対する電圧減衰が遅くなる。図5Aの波形506および516、ならびに図5Bの波形556および566は、特定の負荷におけるそれぞれE級増幅回路およびE2級増幅回路のスイッチング特性の例示的な例であり、単に例として、負荷、回路内の損失の量、および他の要因を含むいくつかの要因に基づいて差が生じる。

【0049】

図6は、E級およびE2級増幅器回路の理論的な100%効率の輪郭を比較したグラフ図600である。水平軸602は Z_{load} のリアクタンス(jXL)を示し、垂直軸604は Z_{load} の抵抗(RL)を示す。

【0050】

トレース606は、 XL (負荷リアクタンス)= $j60$ のときのE2級増幅器の100%効率の輪郭を示し、トレース608は、 $XL=j72$ のときのE2級増幅器の100%効率の輪郭を示し、トレース610は、 $XL=j93$ のときのE2級増幅器の100%効率の輪郭を示し、トレース612は、 $XL=j100$ のときのE2級増幅器の100%効率の輪郭を示す。
20

【0051】

トレース616は、基本周波数の高調波におけるゼロ循環電流での参照のためのE級増幅器の100%効率の輪郭を示す。トレース616の右側部分618は、第2以上の高調波の循環電流でのE級増幅器の実効効率を示す。

【0052】

図示のように、トレース606、608、610、および612はすべて実質的にゼロ(0)リアクタンスポイントを中心とし、E2級増幅器が効率的に動作し得るE2級増幅器に関連する+/-リアクタンス範囲が存在することを示す。例示的な実施形態では、E2級増幅器は、公称25%デューティサイクルで動作し、スイッチ(416、図4)は、サイクルの約75%を導通させ、サイクルの約25%をオフにし、したがって、負荷 Z_{LOAD} でのインピーダンスが $j0$ を中心とするとき、最適性能を達成し、したがって、主に $j0$ 点を中心とする+/-リアクタンス範囲をサポートする。E2級増幅器は、動作点をシフトさせ、そこで、トレース616によって示されるように、最大効率がリアクタンス範囲の上端ではなくリアクタンス範囲の中心で達成される。E2級増幅器は、E級増幅器およびF級増幅器に比べて比例的にはるかに広いリアクタンス動作範囲をサポートし、また、比較的低い入力抵抗でも動作し、低電圧電源動作にとって理想的になる。E2級の設計は、上述したような例示的な実施形態で、 Z_{LOAD} において基本および第2高調波電流が意図的に与えられるという前提に基づいている。
30

【0053】

図7は、図4のE2級増幅器回路の出力波形を示すグラフ図700である。水平軸702は、右に向かって増加する時間を示し、垂直軸704は、ノード411(図4)における電圧を示す。パルス706および708は、スイッチ416(図4)が開(非導通)である時間の期間を示す。

【0054】

基本周波数f1の第2高調波f2での1/4波変換回路451(図4)によって形成される負荷インダクタンスは、キャパシタンス C_s418 と並行して、公称25%デューティサイクルでゼロ電圧を遮断する(スイッチ416は時間の約25%オフ)ほぼ半正弦波を形成する波形を設定する。このようにして、波形は、第2高調波によって実質的に満たされ、基本波における負荷インピ
40

10

20

30

40

50

ーダンスの影響を二次的に受けるだけである。対照的に、いくつかのE級およびF級増幅器は、基本周波数での波形要件を実質的に満たし、第2高調波電流は、波形の形状を最適性能から低下させる。

【 0 0 5 5 】

図8は、E級増幅器の負荷抵抗および共振器インピーダンスに応じた増幅器回路210に与えられるインピーダンス Z_{load} の大きさを示すグラフ図800であり、負荷の大きさはセンタリングされず、 Z_{load} のリアクタンスの各極値で異なる電圧および電流ストレスを提供する。

【 0 0 5 6 】

水平軸802は負荷回路240(図2)における共振器のリアクタンスを示し、垂直軸804は負荷のインピーダンス(Z_{load})を示す。トレース806は、 RL (負荷抵抗)=50オームのときの負荷インピーダンスを示し、トレース808は、 RL =32オームのときの負荷インピーダンスを示し、トレース810は、 RL =20オームのときの負荷インピーダンスを示す。

【 0 0 5 7 】

グラフ800は、E級増幅器動作を表す公称50%デューティサイクル設計に基づいて、3つの異なる負荷抵抗 RL について $XL=58.5j \sim 105.4j$ に及ぶ共振器リアクタンス(XL)に応じた基本周波数(6.78MHz)における $Z_{LOAD}(j_0)$ の大きさを示す。グラフ800は、 RL の3つのすべての場合について、最も高いインピーダンスが XL の高い範囲で生じ、最も低いインピーダンスが XL の低い範囲で生じることを示す。

【 0 0 5 8 】

高負荷インピーダンスは、トランジスタ(スイッチ216)およびRFインダクタ214における低い循環電流に変換され、低負荷インピーダンスはより高い循環電流に変換される。

【 0 0 5 9 】

したがって、図8に示されるように、循環電流は、低共振器リアクタンス(XL)において最も高く、結果としてトランジスタ(スイッチ416)の損失が高くなり、RFインダクタ214における巻線損失が高くなる。

【 0 0 6 0 】

図9は、E2級増幅器の負荷抵抗および共振器インピーダンスに応じた増幅器回路410に与えられるインピーダンス Z_{load} の大きさを示すグラフ図900である。この例では、第2高調波電流を使用してゼロ電圧スイッチング(ZVS)条件を満たすことに起因して、負荷の大きさはセンタリングし、 Z_{load} のリアクタンスの各極値で同等の電圧および電流ストレスを可能にし、同等のE級増幅器と比較して、許容できる負荷インピーダンス範囲を事実上2倍にする。

【 0 0 6 1 】

水平軸902は負荷回路440(図4)における共振器のリアクタンスを示し、垂直軸904は負荷のインピーダンス(Z_{load})を示す。トレース906は、 RL (負荷抵抗)=50オームのときの負荷インピーダンスを示し、トレース908は、 RL =32オームのときの負荷インピーダンスを示し、トレース910は、 RL =20オームのときの負荷インピーダンスを示す。

【 0 0 6 2 】

グラフ900は、公称25%デューティサイクル設計に基づいて、3つの異なる RL について $XL=58.5j \sim 105.4j$ に及ぶ共振器リアクタンス(XL)に応じた基本周波数(たとえば、6.78MHz)における $Z_{LOAD}(j_0)$ の大きさを示す。

【 0 0 6 3 】

ピークインピーダンスは、 XL の中間範囲(約 $80j$)で発生し、トレース906、908および910の両端でより低いインピーダンス値に向かって先細りすることに留意されたい。これは、 XL の中間範囲でトランジスタ(スイッチ416、図4)およびRFインダクタ(インダクタ414、図4)を通る最も低い循環電流が達成されるが、高い XL および低い XL での循環電流は実質的に同じであることを示す。 $RL=50$ の負荷抵抗では、トレース806によって示されるように、 XL 範囲全体にわたって循環電流がほぼ同じになる。

【 0 0 6 4 】

10

20

30

40

50

図8に示す公称50%デューティサイクル設計と比較して、公称25%デューティサイクル設計では、 Z_{LOAD} は公称25%デューティサイクルでより高く、これは、公称25%デューティサイクルで、トランジスタスイッチ(スイッチ416、図4)およびRFインダクタ(414、図4)における循環電流がより低いことを意味する。したがって、公称25%デューティサイクルを使用することによって、損失が低下するはずである。

【0065】

図900は、E級増幅に対してE2級増幅で動作するときの2つの共振器リアクタンスの利点の近似係数を示す。E2級増幅器は、共振器リアクタンス範囲の中心からほぼ対称的なスイッチ負荷を示す。対照的に、E級増幅器の負荷インピーダンスは負荷リアクタンスとともに増加し、結果的に、共振器リアクタンス範囲が同じでも、スイッチには約2倍の負荷インピーダンスの変動が与えられる。10

【0066】

いくつかのE級増幅器構成に対するE2級増幅器の利点は、たとえば、複素インピーダンス値の範囲にわたるしきい値を上回る効率の向上、リアクタンス範囲の拡張、低電圧動作(E級と比較してDC電圧が1/2~1/3倍)、および直列インダクタンスのみを使用することによる高調波フィルタの複雑さの低減を含む。回路400(図4)は、第2高調波において完全な絶縁を提供する必要はない。しかしながら、第2高調波での負荷変動を大幅に低減し、第2高調波で増幅器回路410に対して主に正のリアクタンスを与える。

【0067】

図10は、ワイヤレス電力送信機におけるE2級増幅器回路を動作させるための方法1000の例示的な実施形態を示すフローチャートである。方法1000におけるブロックは、図示の順序で、または図示の順序から外れて、実行され得る。方法1000の説明は、本明細書で説明する様々な実施形態に関する。20

【0068】

ブロック1002において、およそ25%オフ/75%オンサイクルを有する制御信号が増幅器回路に供給される。例示的な実施形態では、制御信号は、スイッチ416(図4)などの半導体スイッチに供給されてもよい。

【0069】

ブロック1004において、送信回路は、基本周波数の第2高調波である周波数でほぼ共振し、その結果、電流は、基本周波数の第2高調波で増幅器内を循環する。例示的な実施形態では、送信回路の構成要素の値は、キャパシタ418、インダクタL1 432、および第1のキャパシタC1 436が基本周波数f1の第2高調波f2で共振するように選択される。30

【0070】

図11は、ワイヤレス電力送信機におけるE2級ドライバ回路を動作させるための装置1100の機能ブロック図である。装置1100は、およそ25%オフ/75%オンサイクルを有する制御信号を増幅器回路に供給するための手段1102を備える。いくつかの実施形態では、およそ25%オフ/75%オンサイクルを有する制御信号を増幅器回路に供給するための手段1102は、方法1000の動作ブロック1002(図10)で説明した機能の1つまたは複数を実行するように構成することができる。例示的な実施形態では、およそ25%オフ/75%オンサイクルを有する制御信号を増幅器回路に供給するための手段1102は、本明細書に記載の送信回路に供給される入力信号を備え得る。40

【0071】

装置1100は、送信回路が基本周波数の第2高調波である周波数で共振するための手段1104をさらに備える。いくつかの実施形態では、送信回路が基本周波数の第2高調波である周波数で共振するための手段1104は、基本周波数の第2高調波で電流を増幅器内に循環させることを含む、方法1000の動作ブロック1004(図10)で説明した機能の1つまたは複数を実行するように構成することができる。例示的な実施形態では、送信回路が基本周波数の第2高調波である周波数で共振するための手段1104は、本明細書で説明した送信回路を備え得る。

【0072】

10

20

30

40

50

図12は、例示的な実施形態を実施することができる例示的なワイヤレス電力伝達システム1200の機能ブロック図である。例示的なワイヤレス電力伝達システム1200は、本明細書で説明したE2級増幅器回路の多くの用途の一例として示されており、いくつかの用途のうちのいずれかでのE2級増幅器回路の用途の制限を意図するものではない。

【0073】

電力をワイヤレスに伝達することは、物理的な電気導体を使用せずに、電場、磁場、電磁場、またはその他に関連する任意の形態のエネルギーを送信機から受信機に伝達することを指し得る(たとえば、電力は、自由空間を通じて伝達され得る)。電力伝達を達成するために、ワイヤレス場(たとえば、磁場)内に出力された電力は、「受信アンテナ」によって受信され得るか、取り込まれ得るか、または結合され得る。

10

【0074】

エネルギー伝達を実現するために場1205(たとえば、磁気または電磁気の種)を発生させるために、電源(図示せず)から送信機1204に入力電力1202が供給され得る。受信機1208は、場1205に結合し、出力電力1210に結合されたデバイス(図示せず)が蓄積または消費するための出力電力1210を発生させ得る。送信機1204と受信機1208の両方は、距離1212だけ分離されている。例示的な一実施形態では、送信機1204および受信機1208は、相互共振関係に従って構成される。受信機1208の共振周波数と送信機1204の共振周波数とがほぼ同じか、または極めて近いとき、送信機1204と受信機1208との間の伝送損失が低減される。したがって、大型コイルが極めて近い(たとえば、ミリメートル)ことが必要であり得る純誘導性ソリューション(purely inductive solution)とは対照的に、より大きい距離にわたって、ワイヤレス電力伝達が提供され得る。したがって、共振誘導結合技法は、改善された効率と、様々な距離にわたる、様々な誘導コイル構成を用いた電力伝達とを可能にし得る。

20

【0075】

受信機1208は、送信機1204によって生成されたエネルギー場1205内に位置するときに電力を受信し得る。場1205は、送信機1204によって出力されたエネルギーが受信機1208によって取り込まれ得る領域に対応する。送信機1204は、エネルギー送信を出力するための送信アンテナ1214(本明細書ではコイルと呼ばれることもある)を含み得る。受信機1208は、エネルギー伝送からエネルギーを受信するか、または取り込むための受信アンテナ1218(本明細書ではコイルと呼ばれることもある)をさらに含む。場合によっては、場1205は、送信機1204の「近接場」に対応し得る。近距離場は、送信アンテナ1214から電力を最小限に放射する、送信アンテナ1214内の電流および電荷から生じる強い反応場が存在する領域に対応し得る。場合によっては、近距離場は、送信アンテナ1214の約1波長(または1波長の数分の1)内にある領域に対応し得る。

30

【0076】

したがって、上記により、より特定の実施形態によれば、送信機1204は、送信アンテナ1214の共振周波数に対応する周波数をもつ時変磁場1205を出力するように構成され得る。受信機が場1205内にあるとき、時変磁場1205は、電流を受信アンテナ1218を通って流れさせる電圧を、受信アンテナ1218中に誘導し得る。上記で説明したように、受信アンテナ1218が送信アンテナ1214の周波数において共振するように構成される場合、エネルギーがより効率的に伝達され得る。受信アンテナ1218中に誘導されたAC信号は、負荷を充電するかまたは負荷に電力供給するために与えられ得るDC信号を生成するために、整流され得る。

40

【0077】

図13は、様々な例示的な実施形態による、図12のワイヤレス電力伝達システム1200で使用され得るワイヤレス電力伝達システム1300における例示的な構成要素の機能ブロック図である。送信機1304は、発振器1322と、ドライバ回路1324と、フィルタ/整合回路1326とを含み得る、送信回路1306を含み得る。発振器1322は、周波数制御信号1323に応答して調整され得る、468.75KHz、6.78MHz、または13.56MHzなどの所望の周波数の信号を発生させるように構成され得る。発振器信号は、たとえば送信アンテナ1314の共振周波数において送信アンテナ1314を駆動するように構成されたドライバ回路1324に与えられ得る。ドライ

50

バ回路1324は、発振器1322から方形波を受信し、正弦波を出力するように構成されたスイッチング増幅器であり得る。たとえば、ドライバ回路1324は、本明細書で説明したように、E2級増幅器であってもよい。また、高調波または他の不要な周波数をフィルタ除去し、送信機1304のインピーダンスを送信アンテナ1314のインピーダンスに整合させるために、フィルタ/整合回路1326が含まれ得る。送信アンテナ1314を駆動した結果として、送信機1304は、電子デバイスを充電または給電するのに十分なレベルで電力をワイヤレスで出力し得る。一例として、供給される電力は、様々な電力要件を有する様々なデバイスに給電または充電するために、たとえば、300ミリワットから5ワットまたは5ワットから40ワット程度であり得る。より高いまたはより低い電力レベルが供給されることもある。

【0078】

10

受信機1308は、整合回路1332と、図13に示すバッテリ1336を充電するかまたは受信機1308に結合されたデバイス(図示せず)に給電するためにAC電力入力からDC電力出力を生成するための整流器/スイッチング回路1334とを含み得る、受信回路1310を含むことができる。整合回路1332は、受信回路1310のインピーダンスを受信アンテナ1318のインピーダンスに整合させるために含まれ得る。加えて、受信機1308と送信機1304は、別々の通信チャネル1319(たとえば、Bluetooth(登録商標)、zigbee、セララーなど)上で通信し得る。代替的には、受信機1308および送信機1304は、ワイヤレス場1305の特性を使用して帯域内シグナリングを介して通信し得る。

【0079】

20

受信機1308は、選択的に無効にできる関連する負荷(たとえば、バッテリ1336)を最初に有することがあり、送信機1304によって送信され、受信機1308によって受信される電力量が、バッテリ1336を充電するために適切であるかどうかを決定するように構成され得る。さらに、受信機1308は、電力の量が適切であると決定すると、負荷(たとえば、バッテリ1336)を有効にするように構成され得る。

【0080】

30

図14は、例示的な実施形態による、送信アンテナまたは受信アンテナ1452を含む、図13の送信回路1306または受信回路1310の一部の概略図である。図14に示されたように、以下に記載されるものを含む例示的な実施形態において使用される送信回路または受信回路1450は、アンテナ1452を含む場合がある。アンテナ1452はまた、「ループ」アンテナ1452と呼ばれることがあり、または「ループ」アンテナ1452として構成され得る。アンテナ1452はまた、本明細書において、「磁気」アンテナまたは誘導コイルと呼ばれることがあり、あるいは「磁気」アンテナまたは誘導コイルとして構成され得る。「アンテナ」という用語は、一般に、別の「アンテナ」への結合のためにエネルギーをワイヤレスに出力または受信し得る構成要素を指す。アンテナ1452は、電力をワイヤレスに出力または受信するよう構成されたタイプのコイルと呼ばれることもある。本明細書で使用するアンテナ1452は、電力をワイヤレスで出力および/または受信するよう構成されたタイプの「電力伝達構成要素」の一例である。アンテナ1452は、空芯、またはフェライトコア(図示せず)などの物理的コアを含むように構成され得る。

【0081】

40

アンテナ1452は、共振周波数において共振するように構成された共振回路の一部分を形成し得る。ループアンテナまたは磁気アンテナ1452の共振周波数は、インダクタンスおよびキャパシタンスに基づく。インダクタンスは、単にアンテナ1452によって作り出されるインダクタンスであり得るが、所望の共振周波数における共振構造(たとえば、キャパシタが直列または並列にアンテナ1452に電気的に接続され得る)を作り出すために、キャパシタンスが追加され得る。非限定的な例として、所望の動作周波数において共振する共振回路を作り出すために、キャパシタ1454およびキャパシタ1456が送信回路または受信回路1450に追加され得る。より大きい直径のアンテナでは、共振を持続させるのに必要なキャパシタンスのサイズは、ループの直径またはインダクタンスが増加するにつれて減少し得る。アンテナの直径が増加するにつれて、近距離場の効率的なエネルギー伝達エリアが増加し得る。他の構成要素を使用して形成された他の共振回路も、可能である。別の非限定

50

的な例として、キャパシタ(図示せず)が、アンテナ1452の2つの端子の間に並列に配置され得る。送信アンテナの場合、アンテナ1452の共振周波数に実質的に対応する周波数を有する信号1458は、アンテナ1452への入力であり得る。受信アンテナの場合、信号1458は、整流され得、負荷に給電または充電するために使用され得る出力であり得る。

【0082】

上記で説明した方法の様々な動作は、様々なハードウェアおよび/またはソフトウェア構成要素、回路、および/またはモジュールなどの、動作を実行することが可能な任意の適切な手段によって実行され得る。一般に、図に示す任意の動作は、動作を実行することが可能な対応する機能手段によって実行されてもよい。

【0083】

上記の開示に鑑みて、プログラミングの当業者は、たとえば本明細書におけるフローチャートおよび関連する説明に基づいて、容易に、開示された発明を実装するために、コンピュータコードを書くか、あるいは適切なハードウェアおよび/または回路を特定することができます。したがって、プログラムコード命令または詳細なハードウェアデバイスの特定のセットの開示が、本発明をどのように製作し使用すべきかについて適切に理解するために必要であるとは見なされない。特許請求されるコンピュータ実装プロセスの本発明の機能は、上記の説明において、および様々なプロセスフローを示し得る図面と併せて、より詳細に説明される。

【0084】

1つまたは複数の例示的な態様では、説明した機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組合せで実装されてよい。ソフトウェアにおいて実装される場合、機能は、コンピュータ可読媒体上の1つまたは複数の命令またはコードとして記憶または送信されてもよい。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ記憶媒体と、ある場所から別の場所へのコンピュータプログラムの転送を容易にする任意の媒体を含む通信媒体の両方を含む。記憶媒体は、コンピュータによってアクセスされ得る任意の利用可能な媒体であってもよい。限定ではなく例として、そのようなコンピュータ可読媒体は、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROMもしくは他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置もしくは他の磁気記憶デバイス、または命令またはデータ構造の形で所望のプログラムコードを搬送または記憶するために使用することができ、コンピュータによってアクセスすることができる任意の他の媒体を含むことができる。

【0085】

また、あらゆる接続が、コンピュータ可読媒体と適切に呼ばれる。たとえば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、より対線、デジタル加入者線(「DSL」)、または、赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術を使用してウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、より対線、DSL、または、赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術は、媒体の定義に含まれる。

【0086】

本明細書で使用するディスク(disk)およびディスク(disc)は、コンパクトディスク(disc)(CD)、レーザーディスク(登録商標)(disc)、光ディスク(disc)、デジタル多用途ディスク(disc)(DVD)、フロッピーディスク(disk)およびBlu-Rayディスク(disc)を含み、ディスク(disk)は通常、データを磁気的に再生し、ディスク(disc)は、レーザーを用いてデータを光学的に再生する。上記の組合せもコンピュータ可読媒体の範囲に含まれるべきである。

【0087】

選択された態様が図示され、詳細に説明されてきたが、以下の特許請求の範囲によって定義されるような本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、態様において様々な置換および改変が行われることを理解されよう。

【符号の説明】

【0088】

10

20

30

40

50

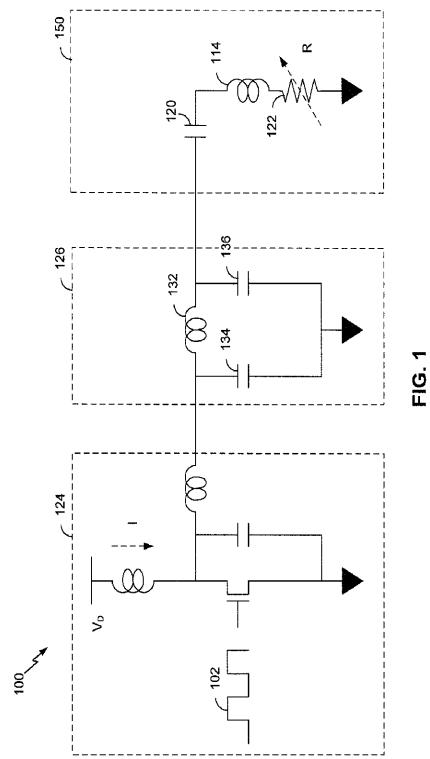
100	回路	
102	入力信号	
114	アンテナ	
120	キャパシタンス	
122	可変抵抗器	
124	增幅器回路	
126	フィルタ回路、ローパスフィルタ回路	
132	インダクタ	
134	キャパシタ	
136	キャパシタ	10
150	負荷回路	
200	送信回路	
210	增幅器回路	
211	ノード	
212	電圧源	
214	インダクタ	
215	入力信号	
216	スイッチ	
217	ダイオード	
218	シャントキャパシタンス、キャパシタンス	20
220	高調波要素	
222	機能	
230	インピーダンス変換回路	
232	インダクタL1	
234	第2のキャパシタC2	
236	第1のキャパシタC1	
240	負荷回路	
242	インダクタ	
244	抵抗器	
300	送信回路	30
310	增幅器回路	
311	ノード	
312	電圧源	
314	インダクタ	
315	入力信号	
316	スイッチ	
317	ダイオード	
318	シャントキャパシタンス	
320	高調波要素	
322	機能	40
323	機能	
330	インピーダンス変換回路	
332	インダクタL1	
334	第2のキャパシタC2	
336	第1のキャパシタC1	
340	負荷回路	
342	インダクタ	
344	抵抗器	
400	回路	
410	增幅器回路	50

411	ノード	
412	電圧源	
414	インダクタ	
415	入力信号	
416	スイッチ	
417	ダイオード	
418	シャントキャパシタンス、キャパシタ	
420	高調波要素	
422	物理的インダクタンス要素	
430	インピーダンス変換回路	10
432	インダクタL1	
434	第2のキャパシタC2	
436	第1のキャパシタC1	
440	負荷回路	
442	インダクタ	
444	抵抗器	
451	1/4波長変換回路	
462	電流ループ	
464	電流ループ	
500	グラフ図	20
502	水平軸	
504	垂直軸	
506	波形	
508	第1の部分	
509	第2の部分	
511	参照番号	
512	時間	
516	波形	
521	スイッチング期間	
550	グラフ図	30
552	水平軸	
554	垂直軸	
556	波形	
558	第1の部分	
559	第2の部分	
561	参照番号	
562	時間	
566	波形	
572	スイッチング期間	
600	グラフ図	40
602	水平軸	
604	垂直軸	
606	トレース	
608	トレース	
610	トレース	
612	トレース	
616	トレース	
618	右側部分	
700	グラフ図	
702	水平軸	50

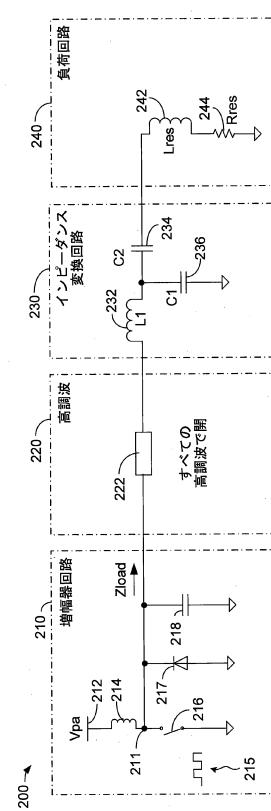
704	垂直軸	
706	パルス	
708	パルス	
800	グラフ図	
802	水平軸	
804	垂直軸	
806	トレース	10
808	トレース	
810	トレース	
812	トレース	
900	グラフ図	
902	水平軸	
904	垂直軸	
906	トレース	
908	トレース	
910	トレース	
912	トレース	
1000	方法	
1100	装置	
1102	手段	20
1104	手段	
1200	ワイヤレス電力伝達システム	
1202	入力電力	
1204	送信機	
1205	場	
1208	受信機	
1210	出力電力	
1212	距離	
1214	送信アンテナ	
1218	受信アンテナ	30
1300	ワイヤレス電力伝達システム	
1304	送信機	
1305	ワイヤレス場	
1306	送信回路	
1308	受信機	
1310	受信回路	
1314	送信アンテナ	
1318	受信アンテナ	
1319	通信チャネル	
1322	発振器	40
1323	周波数制御信号	
1324	ドライバ回路	
1326	フィルタ/整合回路	
1332	整合回路	
1334	整流器/スイッチング回路	
1336	バッテリ	
1450	送信回路または受信回路	
1452	送信アンテナまたは受信アンテナ	
1454	キャパシタ	
1456	キャパシタ	50

1458 信号

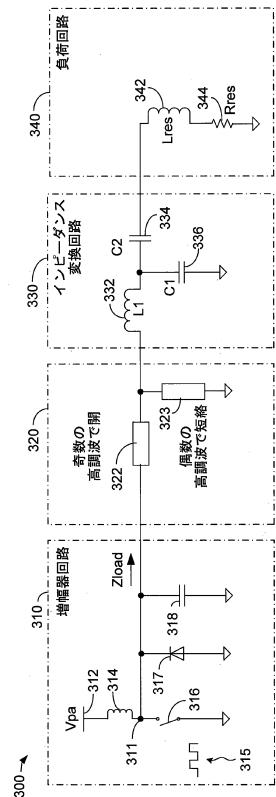
【図1】



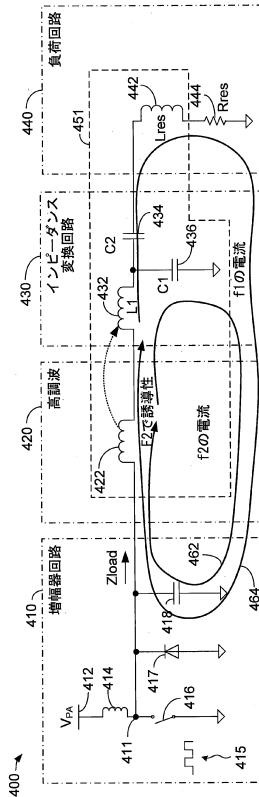
【図2】



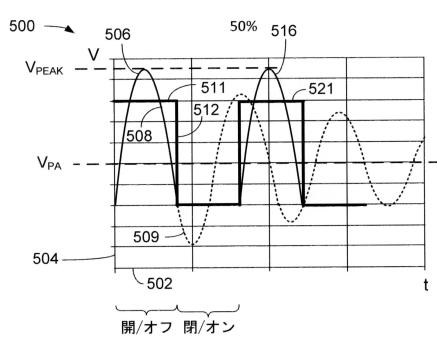
【図3】



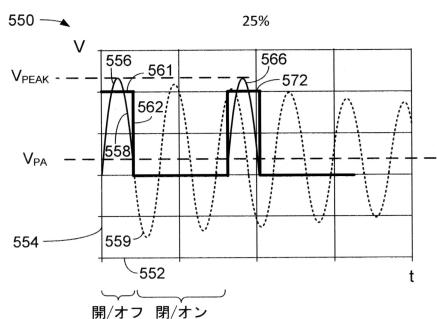
【図4】



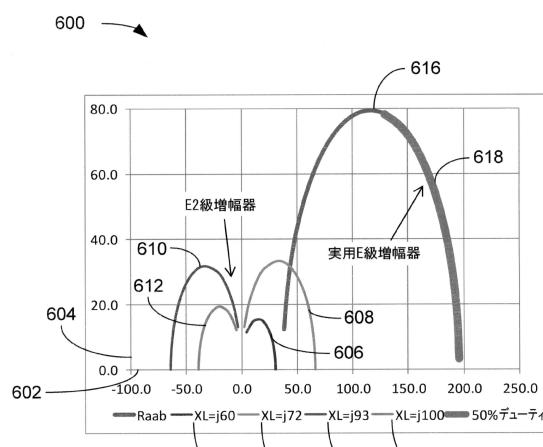
【図5A】



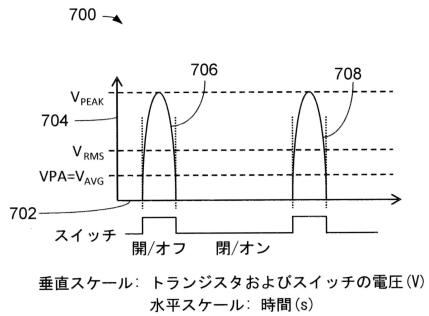
【図5B】



【図6】

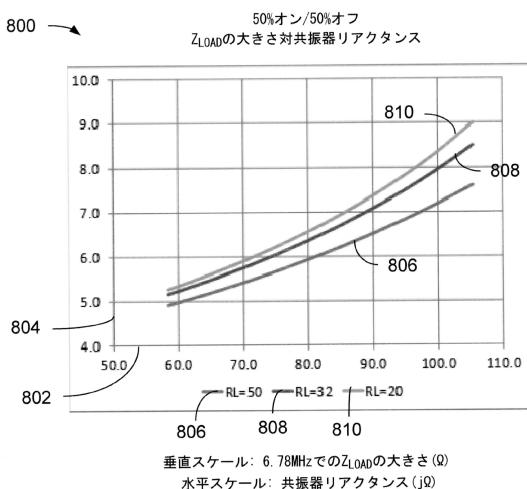


【図7】



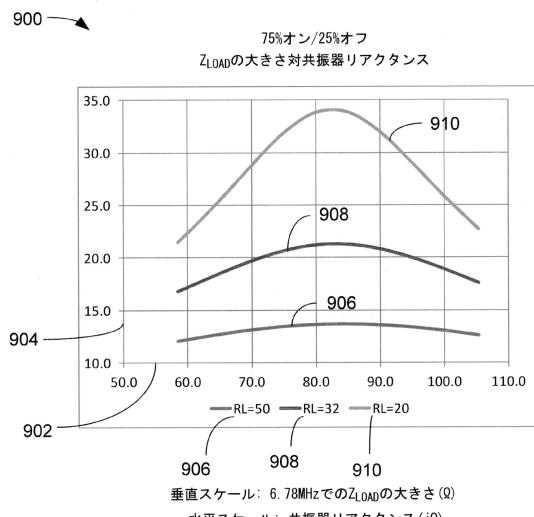
垂直スケール: トランジスタおよびスイッチの電圧(V)
水平スケール: 時間(s)

【図8】



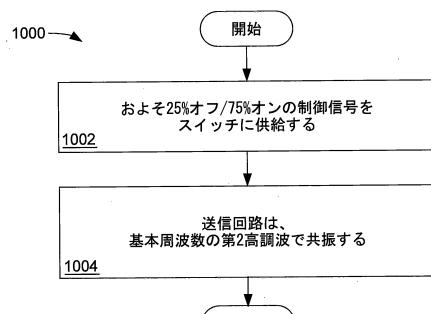
垂直スケール: 6.78MHzでの Z_{LOAD} の大きさ(Ω)
水平スケール: 共振器リアクタンス(jΩ)

【図9】

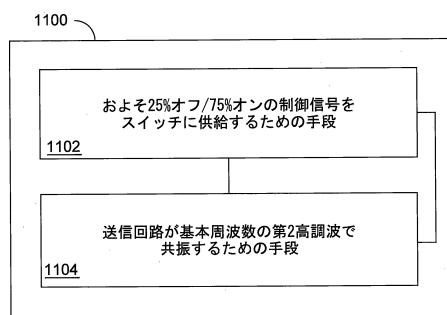


垂直スケール: 6.78MHzでの Z_{LOAD} の大きさ(Ω)
水平スケール: 共振器リアクタンス(jΩ)

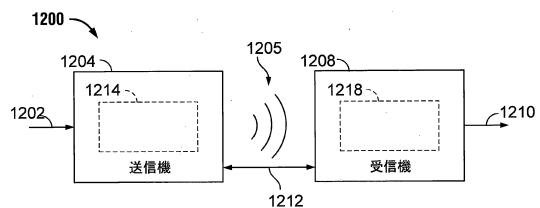
【図10】



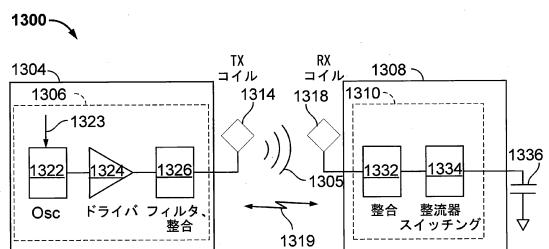
【図11】



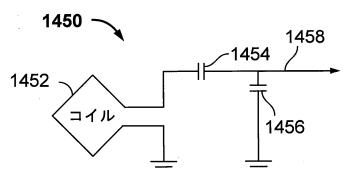
【図1-2】



【図1-3】



【図1-4】



フロントページの続き

(72)発明者 チャールズ・エドワード・ウィートレイ

アメリカ合衆国・カリフォルニア・92121・サン・ディエゴ・モアハウス・ドライブ・577
5

(72)発明者 フォン・フィン

アメリカ合衆国・カリフォルニア・92121・サン・ディエゴ・モアハウス・ドライブ・577
5

審査官 竹内 亨

(56)参考文献 特開2011-101408(JP,A)

特開2010-206420(JP,A)

特開2008-028791(JP,A)

特表2014-531788(JP,A)

米国特許第09929704(US,B2)

特開2012-170031(JP,A)

米国特許第08310305(US,B1)

特開2013-009260(JP,A)

米国特許出願公開第2011/0129037(US,A1)

KAZIMIERCZUK et al., Exact analysis of class E tuned power amplifier at any Q and switch duty cycle, IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1987年 2月, VOL. CAS-34, NO.2

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03F 1/00 - 3/70