



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0621153-4 A2**



(22) Data de Depósito: 28/12/2006  
(43) Data da Publicação: 29/11/2011  
(RPI 2134)

(51) *Int.Cl.:*  
H02J 3/38

(54) **Título:** CIRCUITO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA RESSONANTE AMPLIFICADA A UMA CARGA

(30) **Prioridade Unionista:** 29/12/2005 KR 10-2005-0133362

(73) **Titular(es):** KWANG-JEEK LEE

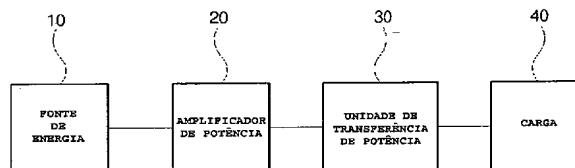
(72) **Inventor(es):** KWANG-JEEK LEE

(74) **Procurador(es):** David do Nascimento Advogados Associados

(86) **Pedido Internacional:** PCT KR2006005801 de 28/12/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/075058de 05/07/2007

(57) **Resumo:** CIRCUITO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA RESSONANTE AMPLIFICADA A UMA CARGA. Trata-se de um circuito para transferir potência ressonante amplificada a uma carga. O circuito transfere a potência ressonante amplificada, a qual é gerada em um indutor de um transformador convencional quando a ressonância em série ou em paralelo de uma fonte de energia convencional é formada, a uma carga através de um transformador convencional. O circuito compreende: uma fonte de energia para produzir e aplicar uma voltagem ou uma corrente; um amplificador de potência para gerar potência ressonante amplificada utilizando a voltagem ou a corrente; e uma unidade de transferência de potência para transferir a potência ressonante amplificada à carga utilizando um transformador.





CIRCUITO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA RESSONANTE  
AMPLIFICADA A UMA CARGA

DESCRIÇÃO

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a um circuito  
amplificador de potência e sua transferência de potência.  
Mais particularmente, a presente invenção refere-se a um  
circuito que pode transferir potência ressonante amplificada,  
a qual é gerada por um indutor de um transformador  
10 convencional quando a ressonância em série ou paralelo de uma  
fonte de energia convencional é formada, para uma carga  
através do transformador convencional.

Antecedentes da Invenção

Uma fonte de energia elétrica produz energia  
15 elétrica e fornece a energia elétrica produzida a uma carga  
conectada diretamente à mesma. Um exemplo de tal fonte de  
energia elétrica é um gerador elétrico. Quando tal gerador  
elétrico produz energia elétrica, um transformador transforma  
a energia elétrica em uma voltagem ou corrente compatível com  
20 a resistência de uma carga e a aplica à carga.

De acordo com um método de alimentação de energia  
elétrica convencional, uma fonte de energia independente  
utilizava uma fonte de energia primária que aplica  
diretamente a energia elétrica a uma carga. Isto é, a  
25 potência de consumo da carga é diretamente fornecida pela  
fonte de energia independente.

Dessa maneira, o método de alimentação de energia  
elétrica convencional utilizava somente uma fonte de energia  
independente que aplicava diretamente a energia a uma carga.  
30 Isto é, um método onde a energia elétrica fornecida por uma  
fonte de energia independente era amplificada e então  
aplicada a uma carga não era conhecido.

Portanto, antes de aplicar a energia elétrica de

uma fonte de energia independente a uma carga, se ela for amplificada e então aplicada à carga, o consumo de energia elétrica pode ser reduzido. Isto é, tal idéia se transforma em um marco na indústria.

## 5 Descrição da Invenção

### Problema Técnico

Portanto, a presente invenção foi elaborada em vista dos problemas acima, e um objetivo da presente invenção consiste na apresentação de um circuito para transferir  
10 potência ressonante amplificada a uma carga que é capaz de transferir  $Q$  vezes a potência ressonante amplificada, que é gerada em um indutor de um transformador convencional quando a ressonância em série ou paralelo de uma fonte de energia convencional é formada, a uma carga através do transformador  
15 convencional, aplicando desse modo uma quantidade mais elevada de energia à carga do que é possível com um circuito convencional, incluindo aparelho de fonte de energia convencional que tem funções simples.

### Solução Técnica

20 De acordo com um aspecto da presente invenção, os objetivos acima e outros ainda podem ser atingidos pela provisão de um circuito para transferir potência ressonante amplificada a uma carga, o qual compreende: uma fonte de energia para produzir e aplicar voltagem e corrente; um  
25 amplificador de potência para gerar potência ressonante amplificada utilizando a voltagem ou a corrente; e uma unidade de transferência de potência para transferir a potência ressonante amplificada à carga utilizando um transformador.

30 De preferência, a fonte de energia é uma dentre uma fonte de voltagem C.A., uma fonte de corrente C.A., uma fonte de voltagem C.C., e uma fonte de corrente C.C.

De preferência, o amplificador de potência inclui:

um indutor primário do transformador; e um capacitor conectado ao indutor primário em série ou em paralelo. Aqui, a potência ressonante amplificada é armazenada no indutor primário.

5 De preferência, a impedância refletiva no lado primário do transformador tem um valor relativamente pequeno, de maneira tal que o amplificador de potência pode manter a ressonância.

#### Breve Descrição dos Desenhos

10 Os objetivos acima e outros ainda, as características e outras vantagens da presente invenção serão compreendidos mais claramente a partir da seguinte descrição detalhada tomada conjuntamente com os desenhos anexos, nos quais:

15 a FIGURA 1 é um diagrama de blocos do circuito esquemático de acordo com uma realização da presente invenção;

a FIGURA 2 é uma vista que ilustra um circuito que transfere potência ressonante amplificada, gerada como  
20 ressonância em série, a uma carga, de acordo com uma realização da presente invenção;

a FIGURA 3 mostra diagramas de circuito equivalentes de um gerador elétrico síncrono trifásico de acordo com uma realização da presente invenção;

25 a FIGURA 4A e a FIGURA 4B são diagramas de circuito equivalente de circuitos de ressonância em série e em paralelo, respectivamente, de acordo com uma realização da presente invenção;

a FIGURA 5 é um diagrama de circuito equivalente de  
30 um transformador de acordo com uma realização da presente invenção;

as FIGURAS 6A e 6B são diagramas de circuito equivalente quando um transformador conectado a uma carga se

encontra em ressonância em série, de acordo com uma realização da presente invenção;

5 a FIGURA 7 é uma vista exemplificadora que ilustra um transformador utilizado em uma realização da presente invenção;

a FIGURA 8 é um diagrama de circuito equivalente de um circuito experimental de amplificação/transferência de energia elétrica, de acordo com uma realização da presente invenção;

10 a FIGURA 9 mostra diagramas de circuito equivalentes de um circuito utilizado em uma experiência de acordo com a presente invenção;

15 a FIGURA 10 é um diagrama de circuito onde uma carga é conectada diretamente a uma fonte de energia de acordo com uma experiência da presente invenção;

a FIGURA 11 é um diagrama de circuito equivalente de um transformador final para transferência de energia elétrica de acordo com uma experiência da presente invenção;

20 a FIGURA 12 é um diagrama de circuito equivalente de uma fonte de voltagem ressonante de transferência de energia elétrica de acordo com uma experiência da presente invenção;

25 a FIGURA 13 é um diagrama de circuito equivalente de uma fonte de corrente ressonante de transferência de energia elétrica de acordo com uma experiência da presente invenção;

30 a FIGURA 14 é um diagrama de circuito equivalente de um transformador de energia elétrica de transferência de um aparelho eletrodoméstico, de acordo com uma experiência da presente invenção; e

a FIGURA 15 é um diagrama de circuito equivalente de uma fonte de corrente ressonante de transferência de energia elétrica de um aparelho eletrodoméstico, para reduzir

a potência de consumo de uma carga, de acordo com uma experiência da presente invenção.

#### Melhor Modo Para Praticar a Invenção

5 As realizações preferidas de um circuito para transferir potência ressonante amplificada, configurado para incluir os dispositivos descritos acima, e as suas operações, serão descritas em detalhes com referência aos desenhos anexos.

10 Conforme mostrado na FIGURA 1, o circuito de acordo com a presente invenção é configurado para incluir: uma fonte de energia 10 para produzir e aplicar energia elétrica a um amplificador de potência 20 para ressonar a energia elétrica fornecida pela fonte de energia 10 para gerar potência ressonante amplificada, e nela armazenar a mesma; e uma  
15 unidade de transferência de potência 30 para transferir a potência ressonante amplificada do amplificador de potência 20 a uma carga 40.

A fonte de energia 10 refere-se a uma fonte de energia independente geral. Tal fonte de energia independente  
20 geral é utilizada de uma maneira tal que a sua voltagem de saída é aumentada ou diminuída por um transformador até uma voltagem necessária para uma carga, etc., e transferida então à carga. No entanto, na presente invenção, a fonte de energia 10 funciona apenas como somente um circuito acessório que  
25 aplica a corrente ou a voltagem ao amplificador de potência 20 de maneira tal que o amplificador de potência 20 pode amplificar a potência com base na corrente ou na voltagem. A fonte de energia 10 não produz nem aplica diretamente a sua energia elétrica à carga.

30 A fonte de alimentação de energia independente que funciona como fonte de energia pode ser implementada com uma fonte C.A. 10 e uma fonte C.C. A fonte C.A. inclui uma fonte de voltagem C.A. e uma fonte de corrente C. A. A fonte C.C.

inclui uma fonte de voltagem C.C. e uma fonte de corrente C.C. Quando a fonte de alimentação de energia independente é implementada com uma fonte C.C., a saída da fonte C.C. pode ser convertida em potência C.A. através de um inversor.

5 O amplificador de potência 20 produz potência ressonante amplificada utilizando a voltagem e a corrente de saída da fonte de energia 10. Em uma realização da presente invenção, a potência ressonante amplificada é transferida a uma carga através de um transformador. Mais especificamente, 10 o amplificador de potência 20 produz a potência ressonante amplificada utilizando o indutor primário do transformador, e ela é então armazenada no indutor primário.

Aqui, o amplificador de potência 20 é configurado para incluir o indutor primário do transformador e um 15 capacitor conectado ao indutor primário em série ou em paralelo. Aqui, o amplificador de potência 20 ressona e amplifica a potência proveniente da fonte de energia 10 e então armazena a mesma no indutor.

O amplificador de potência 20 afixa um indutor (L) e um capacitor (C), que são peças elétricas para armazenar 20 energia, à fonte de energia 10, e permite que o indutor (L) e o capacitor (C) sejam síncronos à frequência da potência da fonte e seja formada ressonância em série ou em paralelo. Portanto, a potência da fonte é amplificada Q vezes e então 25 armazenada no indutor (L) e no capacitor (C).

Quando a ressonância em série é formada em uma voltagem de alimentação de  $V_g$ , Q vezes a voltagem de alimentação, isto é,  $Q \cdot V_g$  [V], é aplicada ao indutor. Aqui, a potência ressonante em série  $P_s$  pela corrente ressonante  $I_0$  30 que flui no indutor é gerado como  $P_s = QV_g \cdot I_0$  [W].

Por outro lado, quando a ressonância em paralelo é formada, Q vezes a corrente de entrada de  $I_g$ , isto é,  $Q \cdot I_g$  [A], flui para o indutor. Aqui, a potência ressonante em

paralelo  $P_p$  por uma voltagem  $V_p$  entre ambas as ligações do indutor é gerada como  $P_p = QI_g * V_p [W]$ .

Dessa maneira, na utilização da ressonância em série ou em paralelo, o indutor para a ressonância armazena  $Q$  vezes a potência de entrada  $P$  no mesmo. Aqui, o tipo de ressonância pode ser escolhido de acordo com o objeto do desenho do circuito. E aqui a potência gerada no indutor é potência reativa, e, para fins de conveniência, denotada por potência  $P$ .

A potência ressonante amplificada, gerada pelo amplificador de potência 20, é transferida à carga 40 pela unidade de transferência de potência 30 composta por um transformador normalmente utilizado.

A unidade de transferência de potência 30 transfere a potência, amplificada  $Q$  vezes pelo transformador no amplificador de potência 20, à carga. A fim de transferir a potência ao máximo, é preferível que o coeficiente de acoplamento  $k$  seja próximo de 1.

Quando a ressonância em série é formada, a voltagem  $V_2$  no lado secundário do transformador, que é indicada em seguida como voltagem secundária  $V_2$ , pode ser calculada pela seguinte equação, baseada no princípio do transformador. Aqui, supõe-se que a corrente  $I_2$  no lado secundário, que é indicada em seguida como corrente secundária  $I_2$ , seja igual a 0.

$$V_2 = k * V_1 / n = k * Q * V_g / n = (Q/n) * k * V_g$$

onde  $Q$  denota um fator de qualidade do circuito,  $n$  denota a relação de voltas do transformador,  $k$  denota o coeficiente de acoplamento,  $V_g$  denota a voltagem de alimentação e  $V_1$  denota uma voltagem entre ambas as ligações do indutor na ressonância em série.

Quando o transformador é operado, a corrente secundária  $I_2$  flui no lado secundário do transformador.

Então, a impedância refletiva  $Z_{21}$  é refletida do lado secundário ao lado primário, suprimindo desse modo a ressonância no lado primário.

Portanto, a impedância refletiva no lado primário, que é indicada em seguida como impedância refletiva primária, é projetado para ser relativamente pequena para manter a ressonância no amplificador de potência 20. Na presente invenção, uma equação para a transferência de voltagem ao lado secundário e uma equação para ajustar a impedância refletiva  $Z_{21}$ , quando a ressonância é formada, são derivadas e então aplicadas ao desenho de circuito. Portanto, a presente invenção permite que o potência ressonante amplificada seja transferida à carga sem perdas, baseada no princípio do transformador.

A carga 40 é um circuito que é provido com a potência amplificada  $Q$  vezes no indutor primário do transformador. Quando a corrente secundária  $I_2$  não é igual a zero, a ressonância do lado primário do transformador é quebrada pela impedância refletiva do transformador. Para impedir isto, a impedância refletiva  $Z_{21}$  deve ser ajustada e a resistência  $R_0$  da carga deve ser idealmente escolhida para manter a ressonância do lado primário.

Uma realização do circuito para transferir potência ressonante amplificada à carga, tal como configurado acima, de acordo com a presente invenção, é ilustrada na FIGURA 2. Conforme mostrado na FIGURA 2, o circuito inclui: uma fonte de energia 10 que tem uma fonte de voltagem C.A. ( $V_g$ ) e um resistor interno ( $R_g$ ), um amplificador de potência 20 que tem um indutor primário ( $L_1$ ) de um transformador e um capacitor ( $C_1$ ) conectados em série ao indutor ( $L_1$ ), uma unidade de transferência de potência 30 que tem o transformador e uma potência ressonante aplicadora de carga ( $R_0$ ), amplificada pela unidade de transferência de potência 30.

A FIGURA 3 mostra diagramas de circuito equivalentes de um gerador elétrico síncrono trifásico de acordo com uma realização da presente invenção. Em tal circuito,  $jX_s$  denota a reatância de um gerador elétrico e  $R_1$  denota a resistência do indutor. A presente invenção transfere a energia elétrica à carga de uma maneira tal que: a fim de aplicar um circuito equivalente para uma geração de energia elétrica monofásica a um circuito, um capacitor é adicionado e a potência do circuito é amplificada utilizando a ressonância; e a potência ressonante amplificada é aplicada diretamente à carga utilizando o princípio do transformador. Portanto, a presente invenção transfere a potência amplificado à carga. Por outro lado, a fonte de energia convencional é conectada diretamente à carga e transfere a sua potência à mesma.

A FIGURA 4A e a FIGURA 4B são diagramas que ilustram um circuito equivalente monofásico de um gerador elétrico ao qual a ressonância em série ou em paralelo é aplicada para amplificar a potência elétrica. Tal circuito é configurado para incluir uma fonte de energia 10 e um amplificador de potência 20.

Conforme mostrado na FIGURA 4A, no circuito ao qual a ressonância em série é aplicada, se a resistência  $R_1$  de uma bobina for negligenciada, o fator de qualidade  $Q_s$  é expresso como  $Q_s = \omega L_1 / R_g$ , onde  $R_g$  denota a resistência interna da fonte de energia, e  $R_1$  denota a resistência de perda da bobina. Aqui, o fator  $Q_s$  de um circuito é geralmente maior do que 10. Além disso, uma voltagem  $V_1$  entre ambas as ligações de um indutor ( $L_1$ ) na ressonância em série é expressa como  $V_1 = Q_s * V_g$ .

Aqui, a potência  $P_1$  armazenada no indutor ( $L_1$ ) é expressada como segue:

$$P_1 = V_1 * I_0 = Q_s * V_g * I_0 = Q_s * V_g^2 / R_g$$

onde  $I_0 = V_g/R_g$  ( $I_0$ : corrente de ressonância)

Além disso, a fonte de energia  $P_g$  na ressonância em série é expressa como  $P_g = V_g \cdot I_0 = V_{g2}/R_g$ . Portanto,  $P_1 = Q_s \cdot P_g$ . A equação mostra que o indutor ( $L_1$ ) na ressonância em série aplica  $Q_s$  vezes a potência de entrada.

Conforme mostrado na FIGURA 4B, no circuito ao qual a ressonância em paralelo é aplicada, tal como o circuito ressonante em série,  $Q$  vezes a potência é aplicado a ambas as ligações do indutor. Uma vez que tal amplificação da potência no circuito ressonante em paralelo é similar àquela do circuito ressonante em série, que já foi descrito acima, a sua descrição será omitida.

A FIGURA 5 é um diagrama de circuito equivalente de um transformador utilizado na unidade de transferência de potência de acordo com uma realização da presente invenção.

Quando se supõe que o transformador da unidade de transferência de potência 30 é ideal, a potência de entrada  $P$  do lado primário pode ser transferida ao lado secundário sem perdas. Portanto, a potência  $P_2$  no lado secundário transforma-se na potência de entrada  $P_1$ , isto é,  $P_1 = P_2$ . No entanto, quando se leva em consideração o coeficiente de acoplamento  $k$  e a relação de voltas  $n$ , o lado secundário pode ser expresso tal como segue. Aqui, a resistência da bobina é negligenciada.

$$V_2 = k \cdot V_1/n$$

$$I_2 = k \cdot n \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 = k_2 \cdot P_1$$

Por outro lado, quando a resistência interna  $R_g$  da fonte de energia existe e a corrente secundária  $I_2$  não é igual a zero porque uma carga que tem a resistência  $R_0$  é conectada ao lado secundário, a impedância refletiva  $Z_{21}$  é acoplada ao lado primário. Aqui, a impedância refletiva  $Z_{21}$

pode ser expressa como  $Z_{21} = -(sM)^2/Z_{22} = R_{21} + jX_{21} [\Omega]$ .

As FIGURAS 6A e 6B são diagramas de circuito equivalentes dos lados primário e secundário de um transformador, respectivamente, quando a potência ressonante amplificada pelo circuito ressonante em série da FIGURA 6A é transferida ao lado secundário do transformador, com base no princípio do transformador, tal como mostrado na FIGURA 5.

Conforme mostrado na FIGURA 6B, no diagrama de circuito equivalente do lado secundário do transformador,  $I_1$  denota a corrente primária e  $Z_{12}$  denota a indutância mútua.

Conforme mostrado na FIGURA 6A, quando o circuito da fonte de energia no lado primário é configurado para ser um circuito ressonante em série e uma carga é conectada ao circuito do lado secundário, a impedância refletiva  $Z_{21}$  aparece no circuito ressonante no lado primário. Quando o circuito é projetado de maneira tal que a impedância refletiva  $Z_{21}$  quase não afeta o circuito ressonante no lado primário, o circuito ressonante continua a sua ressonância. Então, a potência amplificada por tal ressonância é transferida ao lado secundário, com base no princípio do transformador, de maneira tal que a potência amplificada pode ser aplicada à carga.

O que segue é uma descrição detalhada das experiências exemplificadoras para provar as realizações descritas acima de acordo com a presente invenção.

A FIGURA 7 é uma vista que ilustra um transformador utilizado em uma experiência prática para uma realização da presente invenção. O transformador é projetado de uma maneira tal que as bobinas são enroladas em torno de um núcleo de ferrite párea formar os lados primário e secundário cujas indutâncias são de 348 [mH] cada uma e cuja relação de voltas é de n:1. Além disso, o transformador é operado na ressonância em série. Aqui, a resistência C.C. da bobina é de

2,8  $[\Omega]$  e o coeficiente de acoplamento  $k$  é de 0,742.

Além disso, para a experiência do transformador da FIGURA 7, um gerador de sinal, Tektronix CFG 280, cuja impedância interna é de 50 $[\Omega]$ , é utilizado como uma fonte de  
 5 potência C.A. e uma frequência da ressonância em série de 304 [KHz] é utilizada. Um osciloscópio, Tektronix TDS 220, é utilizado como um voltímetro.

A FIGURA 8 é um diagrama de circuito equivalente de um circuito experimental de amplificação/transferência de  
 10 energia elétrica de acordo com uma realização da presente invenção. As FIGURAS 9A e 9B são diagramas de circuito equivalentes dos lados primário e secundário no circuito equivalente da FIGURA 8.

No circuito equivalente no lado primário mostrado na FIGURA 9A, a resistência equivalente  $R_T$  pode ser expressa  
 15 como  $R_T = R_g + R_1 + R_{21}$ . Aqui, quando uma carga ( $R_0$ ) é conectada ao circuito, o fator de qualidade  $Q_s$  pode ser expresso como  $Q_s = XL_1/R_T$ . Desse modo, quanto menor a impedância refletiva  $R_{21}$ , melhor a amplificação da potência.

Portanto, se a impedância refletiva  $Z_{21}$  for minimizada no lado primário para manter a ressonância quando o circuito for desenhado, a potência ressonante amplificada é transferida ao lado secundário sem perdas, com base no princípio do transformador, de maneira tal que a voltagem e a  
 25 corrente correspondentes à potência transferida podem aparecer no lado secundário. Conseqüentemente, a voltagem no lado primário, amplificada pela ressonância em série, transforma-se em  $Q_s * V_g$ , e a voltagem  $V_2$  no lado secundário é expressa como  $V_2 = (Q_s/n) * k * V_g$ . Quando o coeficiente de  
 30 acoplamento  $k$  é igual 1 e a relação de voltas  $n$  é igual a 1, a voltagem secundária  $V_2$  é amplificada como  $Q$  vezes a potência  $V_g$  da fonte e aplicada então à carga conectada ao lado secundário.

Uma vez que a corrente secundária  $I_2$  é  $k \cdot n \cdot I_1$ , quando  $n = 1$  e  $k = 1$ , então  $I_2 = I_1$ . Aqui,  $I_1$  é a corrente ressonante do lado primário e transferida ao lado secundário sem perdas.

5 Portanto, a potência  $P_2$  transferida ao lado secundário é expressa como a seguinte equação.

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 = (Q_s/n) \cdot k \cdot V_g \cdot k \cdot n \cdot I_1 = Q_s \cdot k_2 \cdot V_g \cdot I_1 = Q_s \cdot k_2 \cdot P_1$$

A equação acima,  $P_2$ , significa que  $Q_s$  vezes a potência de entrada é transferido ao lado secundário quando a  
10 ressonância é formada com  $k = 1$ . A carga não aplica a energia elétrica da fonte de energia, mas aplica a potência ressonante amplificada pelo amplificador de potência, que é considerado como uma fonte de energia principal. Desse modo, a fonte de energia funciona como um disparador (um circuito  
15 auxiliar) que permite que tal ressonância seja mantida.

Nos circuitos experimentais mostrados nas FIGURAS 9A e 9B, quando se supõe que a resistência  $R_0$  da carga é igual a 170 [k $\Omega$ ], a impedância refletiva  $Z_{21}$  é expressa tal como segue:

$$20 \quad Z_{21} = -(sM)^2/Z_{22} = 1,43 - j5,6 \cdot (10)^{-3} [\Omega] = R_{21} + jX_{21} [\Omega]$$

Aqui, supondo que  $R_g = 50$  [ $\Omega$ ],  $R_0 = 170$  [k $\Omega$ ],  $XL_1 = 665$  [ $\Omega$ ],  $XL_2 = 665$  [ $\Omega$ ],  $k = 0,742$ , e  $n = 1$ .

Conforme descrito na equação, uma vez que a resistência refletiva  $R_{21}$ , 1,43 [ $\Omega$ ], é relativamente menor do  
25 que a resistência interna  $R_g$ , 50 [ $\Omega$ ], ela quase não afeta o fator do circuito  $Q_s$ . Além disso, uma vez que a reatância capacitiva refletiva  $X_{21}$ ,  $5,6 \cdot (10)^{-3}$  [ $\Omega$ ], é relativamente menor do que a reatância indutiva, 665 [ $\Omega$ ], no lado primário, tal ressonância pode ser constantemente mantida.

30 A seguinte Tabela 1 mostra os dados experimentais da medição da potência disponível aplicada a uma carga ( $R_0$ ) utilizando um circuito ressonante da fonte de energia cuja resistência interna  $R_g$  é 50 [ $\Omega$ ] e cuja voltagem é 1 [V].

Aqui, os dados são obtidos quando o coeficiente de acoplamento  $k$  é igual a 0,742. No entanto, quando o coeficiente de acoplamento  $k$  é igual a 1, então,  $V_2 = V_1$  e a potência aplicada à carga é tal como descrito na Tabela 1.

5 Aqui,  $XL_2$  é negligenciado, porque  $R_0 \gg XL_2$  quando a potência aplicada à carga é calculada.

Tabela 1

Dados experimentais da medição da potência, de acordo com a mudança da carga, no circuito equivalente da FIGURA 8

Resistência da carga, $R_0$ [ $\Omega$ ]	Fator de qualidade, $Q_s$	Voltagem do primário, $V_1$ [V]	Voltagem do secundário, $V_2 = 0,742 V_1$ [V]	Potência de carga disponível, $P_0 - V_{22}/R_0$ [ $\mu W$ ]	Resistência refletiva, $R_{21}$ [ $\Omega$ ]
1M	8,97	8,97	6,65	42,9	0,24
170K	8,80	8,80	6,55	252,3	1,43
10K	6,56	6,56	4,92	2420,6	24,34
1,2K	2,40	2,40	1,72	2465,3	202,89
870	1,93	1,93	1,34	2063,9	279,85

10 Onde  $V_g = 1$  [V],  $k = 0,742$ , e  $n = 1$ .

Na Tabela 1, uma vez que a voltagem de alimentação  $V_g$  é 1 volt, o valor do fator de qualidade do circuito  $Q_s$  é igual à magnitude da voltagem  $V_1$  aplicada ao indutor ( $L_1$ ).

15 Portanto, a voltagem  $V_2$ , transferida ao lado secundário, é  $k \cdot V_1$ .

Além disso, quando  $I_2 = 0$ , o fator de qualidade  $Q_s$  no lado primário é expresso como  $Q_s = XL_1 / (R_g + R_1) = 665 [\Omega] / 52,8 [\Omega] = 12,59$ , contanto que  $R_g$  denote a resistência interna da fonte de energia, 50 [ $\Omega$ ], e  $R_1$  é a resistência C.C. da bobina do primário, 2,8 [ $\Omega$ ].

20 Uma vez que o caso onde a resistência  $R_0$  da carga igual a 1 [M $\Omega$ ] é similar àquele onde  $I_2 = 0$ ,  $Q_s$  deve ser 12,59 como o valor teórico mas, tal como descrito na Tabela 1, o valor experimental é medido como 8.97. Tal resultado é  
25 estimado porque o valor do fator  $Q_s$  é reduzido pela resistência causada pela alta frequência da bobina, assim como pela resistência C.C. da bobina.

Portanto, com base em tal resultado, a resistência eficaz  $R_{eff}$  do circuito primário pode ser calculada como  $R_{eff} = XL_1/Q_s = 667[\Omega]/8,97 = 74,1 [\Omega]$ . Desse modo, o circuito experimental é estimado como sendo operado em um estado onde

5 o a resistência eficaz  $R_{eff}$  é  $R_{eff} = 74,1 [\Omega]$  e a resistência interna  $R_g$  da fonte de potência é  $50 [\Omega]$ . A Tabela 1 mostra que o fator de qualidade  $Q_s$  de acordo com a mudança da resistência  $R_0$  da carga é  $XL_1/(R_{eff} + R_{21})$ , isto é,  $XL_1/(R_{eff} + R_{21})$ .

10 A Tabela 1 mostra que, quando a resistência  $R_0$  da carga é  $1,2 [k\Omega]$ , a resistência refletiva  $R_{21}$  é  $202,89 [\Omega]$  e a amplificação da voltagem é de aproximadamente  $2,4$ . Portanto, um circuito projetado para apresentar tais condições é operado de uma maneira tal que, quando a

15 resistência  $R_0$  da carga é aumentada, a resistência refletiva  $R_{21}$  e a impedância refletiva  $Z_{21}$  são diminuídas, mas o fator de qualidade  $Q_s$  é aumentado.

A seguinte Tabela 2 descreve o valor calculado por uma equação quando o coeficiente de acoplamento  $k$  é ajustado

20 ao circuito ressonante equivalente da FIGURA 8.

Tabela 2 - Valores teóricos, a  $k = 1$ , no circuito equivalente da FIGURA 8

Resistência da carga, $R_0[\Omega]$	Fator de qualidade, $Q_s$	Voltagem do primário, $V_1 [V]$	Voltagem do secundário, $V_2 = 0,742 V_1 [V]$	Potência de carga disponível, $P_o - V_{22}/R_0 [\mu W]$	Resistência refletiva, $R_{21} [\Omega]$
1M	8,93	8,93	8,93	79,7	0,44
170K	8,67	8,67	8,80	442	2,6
10K	5,62	5,62	5,62	3.158	44,21
1,2K	1,50	0,83	0,83	577	368,51
870	1,14	0,75	0,75	651	508,30

onde  $V_g = 1 [V]$ ,  $k = 1$ , e  $n = 1$ .

Na Tabela 2, uma vez que a resistência refletiva

25  $R_{21}$  é mudada de acordo com uma mudança na resistência  $R_0$  da carga a  $k = 1$ , quando cada  $R_0$  nas Tabelas 1 e 2 for  $1,2 [k\Omega]$  ou  $870 [\Omega]$ , a potência disponível aplicada à carga ( $R_0$ ) é

diminuída mais do que aquela no caso de  $k = 0,742$ . Tal resultado ocorre porque os parâmetros empregados para o impedância refletiva  $Z_{21}$ , tais como o coeficiente de acoplamento  $k$ , a resistência  $R_0$  da carga, a relação de voltas  $n$ , e a reatância  $XL_1$ , são associados com o desenho de um

5 circuito para transferência de potência ressonante.

A seguinte Tabela 3 mostra comparações da magnitude de potência disponível aplicada a uma carga ( $R_0$ ) quando a carga ( $R_0$ ) é conectada diretamente à voltagem de alimentação com aquela da potência disponível aplicada a uma carga ( $R_0$ ) quando a carga é conectada a um circuito experimental para a amplificação da potência com a fonte de voltagem 1 [V], tal como mostrado na FIGURA 8.

10

A FIGURA 10 é um diagrama de circuito onde uma fonte de energia é conectada diretamente a uma carga para aplicar a sua potência à carga. Aqui, uma vez que  $R_0 \gg R_g$ , a resistência interna  $R_g$  da fonte de energia é negligenciada.

15 Tabela 3 - Comparação da potência de carga disponível entre a maneira de conexão direta e a maneira de conexão com amplificação de potência da fonte

20

Resistência da carga, $R_0$ [ $\Omega$ ]	<sup>(1)</sup> Maneira de conexão direta $P_0 = V_g^2/R_0$ [ $\mu$ W]	Maneira de conexão com amplificação da potência da fonte		Relação da potência de carga disponível, (2)/(1)	Relação da potência de carga disponível, (3)/(1)
		$P_0 = V_g^2/R_0$ [ $\mu$ W] <sup>(2)</sup> $k = 0,742$	<sup>(3)</sup> $k = 1$		
1M	1,0	42,9	79,7	42,9	79,7
170K	5,9	252,3	442	42,76	74,91
10K	100,0	2420,6	3.158	24,20	31,58
1,2K	833,3	2465,3	577	2,95	0,69
870	1149,4	2063,9	651	1,79	0,56

Conforme descrito na Tabela 1, no circuito onde  $Q_s$  é mantido em 6,56 na ressonância em série, a potência disponível aplicada à carga que tem uma resistência  $R_0$  da carga de 10 [k], tal como descrito na Tabela 3, é 24,2 vezes a potência no caso de  $k = 0,742$  e 31,58 vezes a potência no

25 caso de  $k = 1$  do que aquela do caso onde a carga é conectada

diretamente à fonte de energia. Isto significa que a carga é provida com a potência amplificada,  $Q_s^2$  vezes maior do que aquela do método convencional de provisão de potência.

O que segue é uma descrição detalhada de um  
5 circuito para a amplificação e a aplicação de potência da fonte utilizando a ressonância em paralelo, com base nos resultados experimentais.

A energia elétrica doméstica é fornecida de uma maneira tal que 6,6 [kV] são transmitidos a um transformador  
10 mais próximo de uma casa e o transformador decrementa a voltagem a uma fase monofásica 220 [V] para fornecer a mesma à casa, de modo que os aparelhos eletrodomésticos possam consumir a mesma.

A FIGURA 11 é um diagrama de circuito equivalente  
15 para a transferência de energia elétrica a cargas em uma casa. O circuito é projetado de uma maneira tal que a resistência  $R_0$  da carga é igual a 1 [ $\Omega$ ] e um fator  $Q_p$  de um circuito desejado é igual a 8,58. Aqui, a resistência interna da fonte de energia é negligenciada.

20 Aqui, a voltagem do primário do transformador é de 6,6 [kV] e a voltagem do secundário é de 220 [V]. Além disso, quando se supõe que o coeficiente de acoplamento  $k$  do transformador é igual a 1, a relação de voltas  $n$  é 30 ( $=V_1/V_2 = 6,6 \text{ [kV]}/220 \text{ [V]}$ ). Além disso, supõe-se que a resistência de  
25 uma carga na casa seja de 1 [ $\Omega$ ].

Aqui, a fim de aplicar 220 [V] à carga, a reatância no lado secundário do transformador mostrado na FIGURA 11 deve ser escolhida de uma maneira tal que seja 1% da resistência da carga, isto é, 0,0105 [ $\Omega$ ]. Uma vez que cada  
30 uma dentre a reatância  $X_1$  no lado do primário e a reatância  $X_2$  no lado do secundário é proporcional ao quadrado da relação de voltas,  $XL_1 = n^2XL_2 = 30^2 (0,0105) = 9,44$  [ $\Omega$ ]. Aqui, uma vez que a impedância refletiva  $Z_{21}$  é  $-(sM)^2/Z_{22}=0.1-$

$j0.01 \text{ } [\Omega]$ , ela quase não afeta o circuito no lado primário.

Portanto, um circuito de ressonância em paralelo do lado do primário, para a potência de amplificação, é aplicado ao circuito de amplificação de potência utilizando a  
5 ressonância em paralelo, tal como mostrado na FIGURA 12, transferindo desse modo a potência ressonante amplificada ao lado do secundário.

Aqui, quando se supõe que a resistência  $RL_1$  da bobina no lado do primário é igual a  $1 \text{ } [\Omega]$ , o fator do  
10 circuito  $Q_p$  é  $8,58 (-XL_1/R_{eff} = 9,44 \text{ } [\Omega]/1,1 \text{ } [\Omega])$ , contanto que  $R_{eff} = RL_1 + R_{21}$ . Além disso, a resistência  $R_1$  na ressonância em paralelo é  $81 \text{ } [\Omega]$  ( $= R_{eff}Q^2 = 1,1 \text{ } [\Omega] * (8,58)^2$ ). Aqui, a resistência interna da fonte de energia é negligenciada.

A FIGURA 13 é um diagrama de circuito equivalente  
15 de uma fonte de corrente, que foi modificado do circuito da FIGURA 12, uma vez que a fonte de voltagem é substituída pela fonte de corrente.

Conforme mostrado na FIGURA 13, a corrente ressonante  $I_0$  é  $0,0815 \text{ } [\text{kA}]$  ( $= V_1/R_1 = 6,6 \text{ } [\text{kV}]/81 \text{ } [\Omega]$ ). A  
20 reatância do primário  $X_1$  permite que uma corrente circulante de  $0,699 \text{ } [\text{kA}]$ , que corresponde a  $I_0$  ( $0,0815 \text{ } [\text{kA}]$ ) vezes  $Q_p$ , seja passada no mesmo.  $6,6 \text{ } [\text{kV}]$  são aplicados a 0 p ambas as ligações da reatância do primário. Portanto, sob essas condições, a potência ressonante em paralelo  $P_{1R}$  é  $4613,4$   
25  $[\text{kW}]$  ( $= V_1 * Q_p * I_0 = 6,6 \text{ } [\text{kV}] * 0,699 \text{ } [\text{kA}]$ ).

No entanto, no circuito equivalente da FIGURA 11, quando a resistência  $RL_1$  da bobina é negligenciada, a corrente  $I_1$  passada na reatância do primário  $XL_1$  é  $0,699 \text{ } [\text{kA}]$   
30 ( $= V_1/XL_1 = 6,6 \text{ } [\text{kV}]/9,44 \text{ } [\Omega]$ ). Portanto, a potência  $P_1$  aplicada à reatância do primário  $XL_1$  é  $4613,4 \text{ } [\text{kW}]$  ( $= V_1 * I_1 = 6,6 \text{ } [\text{kV}] * 0,699 \text{ } [\text{kA}]$ ).

Portanto, a potência ressonante em paralelo  $P_{1R}$  de  $4613,4 \text{ } [\text{kW}]$  na ressonância em paralelo é idêntica, em

magnitude, à potência  $P_1$  de 4613,4 [kW], não na ressonância, e é transferida à carga através do transformador. Em vista da fonte de energia, deve produzir a potência  $P_1$  de 4613,4 [kW], não na ressonância. No entanto, uma vez que a potência da fonte  $P_g$  na ressonância em paralelo, tal como mostrado no circuito equivalente da FIGURA 13, é 0,54 [kW] ( $= V_1 \cdot I_0 = 6,6$  [kV]  $\cdot 0,0815$  [A]), a fonte de energia na ressonância pode produzir  $P_1$  vezes  $1/Q_s$ . Portanto, em vista do gerador elétrico, a sua potência de saída parece ser aumentada. Por outro lado, tal efeito pode ser identicamente obtido de um circuito em ressonância em série.

A presente invenção pode economizar a potência de consumo de mais de uma carga do que é possível no método convencional.

O que segue descreve as propostas teóricas para a maneira na qual a presente invenção pode ser aplicada aos aparelhos eletrodomésticos para economizar a potência de consumo, com base nos resultados experimentais.

Um aparelho eletrodoméstico diminui de 220 [V] a uma determinada voltagem utilizando um transformador e então converte a voltagem diminuída em C.A. ou C.C. para aplicar a mesma às cargas, por exemplo, quando um aparelho tem uma saída regulares de 6V e uma corrente de saída de 0,3 A.

Aqui, a resistência  $R_0$  da carga equivalente é 20 [ $\Omega$ ] ( $= V_2/I_2 = 6$  [V]/0,3 [A]). A fim de aplicar 99% da voltagem à carga ( $R_0$ ),  $X_L$  é escolhido para ser igual a 0,2 [ $\Omega$ ]. Aqui, a relação de voltas  $n$  é 36,7 ( $= V_1/V_2 = 220$  [V]/6 [V]), e a reatância do primário  $X_{L1}$  é 269 [ $\Omega$ ] ( $= n^2 \cdot X_{L2} = 36.72 \cdot 0,2$  [ $\Omega$ ]).

Além disso, quando a impedância refletiva  $Z_{21}$  e a resistência  $RL_1$  da bobina ( $L_1$ ) do primário são escolhidas de modo que  $Z_{21} = -(sM)^2/Z_{22} = 2,7-j0,027$  [ $\Omega$ ] e  $RL_1 = 40$  [ $\Omega$ ], a impedância refletiva  $Z_{21}$  quase não afeta o circuito primário.

Tal circuito equivalente do transformador é ilustrado na FIGURA 14, em que a resistência interna da fonte de energia é negligenciada.

Na FIGURA 14, a fim de aplicar 6 [V] à carga ( $R_0$ ) de 20 [ $\Omega$ ], a corrente do primário  $I_1$  precisa de aproximadamente 818 [mA] (isto é,  $I_1 = V_1/XL_1 = 220[V]/269[\Omega] = 818[mA]$ ), supondo que a resistência do primário  $RL_1$  da bobina seja negligenciada.

Portanto, a potência realmente consumida pela carga ( $R_0$ ) é determinado pela voltagem do primário, 220 [V], e a corrente, 818 [mA], do lado do primário do transformador mostrado na FIGURA 14.

A FIGURA 15 mostra um diagrama de circuito equivalente modificado do circuito da FIGURA 14, uma vez que a fonte de voltagem é substituída por uma fonte de corrente. O circuito da FIGURA 15 é configurado para ser operado em ressonância em paralelo.

Na FIGURA 15, a resistência interna da fonte de energia é negligenciada. No circuito equivalente utilizando a ressonância em paralelo, o fator  $Q_P$  é obtido como  $Q_P = XL_1/(RL_1+R_{21}) = 269[\Omega]/(40+27)[\Omega] = 6,3$ . Além disso, a resistência do circuito primário  $R_1$  é obtida como  $R_1 = (RL_1 + R_{21}) * Q_P^2 = 42,7 * 6,32 = 1694,7 [\Omega]$ .

Portanto, a corrente do primário  $I_1$  é idêntica à corrente ressonante  $I_0$ , e obtida como  $I_0 = V_1/R_1 = 220[V]/1694,7 [\Omega] = 129,8 [mA]$ . Desse modo, a corrente  $I_Q$ , passada na reatância do primário  $XL_1$ , é obtida como  $I_Q = Q_P * I_0 = 6,3 * 129,8 [mA] = 818 [mA]$ .

Portanto, sob a condição de que o coeficiente de acoplamento  $k$  é igual a 1 e a relação de voltas  $n$  é igual a 36,7, a voltagem  $V_2$  e a corrente  $I_2$ , obtidas como  $V_2 = V_1/n = 220[V]/36,7 = 6 [V]$  e  $I_2 = n * I_Q = 36,7 * 818 [mA] = 30 [A]$ , respectivamente, são transferidas à carga no lado do

secundário do transformador. Desse modo, a carga pode ser operada pela voltagem  $V_2$  e pela corrente  $I_2$ , utilizadas como voltagem e corrente regulares da carga.

No entanto, uma vez que a potência de consumo da carga é causada pela potência induzida no lado do primário do transformador, a carga consome realmente a potência causada pela voltagem e pela corrente utilizadas no lado do primário. Portanto, quando a ressonância mostrada no circuito equivalente da FIGURA 14 não é utilizada, a corrente do primário  $I_1$  é de aproximadamente 818 [mA] e a corrente  $I_0$ , passada no lado do primário na ressonância em paralelo mostrada na FIGURA 15, é de aproximadamente 129,8 [mA]. Uma vez que o circuito aplica os mesmos 220 [V], ele pode reduzir a potência, contanto que a carga na ressonância em paralelo, aproximadamente 6,3 vezes menor do que essa, contanto que a carga não seja na ressonância. Isto é, o circuito pode reduzir a potência da consumo na ressonância em paralelo  $Q_p$  vezes, em comparação ao caso em que não é na ressonância.

#### Aplicabilidade Industrial

Conforme descrito acima, o circuito de acordo com a presente invenção pode transferir potência amplificada a uma carga, em comparação ao circuito convencional onde a potência elétrica é simplesmente transferida à carga utilizando um gerador elétrico e um transformador. Para esta finalidade, o circuito da presente invenção é configurado de uma maneira tal que: a ressonância (ressonância em série ou em paralelo) é formada no lado da fonte de energia; e o circuito do transformador, utilizado para transferir a potência à carga, é projetado de maneira tal que a sua impedância refletiva pode ser configurada dentro de um valor para manter a ressonância. Portanto, a potência ressonante amplificada é transferida à carga. Isto é, o circuito de acordo com a presente invenção não transfere a potência, produzida por um

gerador elétrico como uma fonte de potência principal, à carga, mas transfere a potência ressonante amplificada à carga.

5 No circuito de acordo com a presente invenção, a fonte de energia (um gerador elétrico, etc.) é considerada como um circuito auxiliar para produzir potência ressonante. A potência a ser substancialmente transferida a uma carga é amplificada por um circuito ressonante em paralelo ou em série, aplicando desse modo a potência ressonante amplificada  
10 à carga, em comparação ao circuito convencional onde a potência produzido por um gerador elétrico é aplicada diretamente à carga. Portanto, o circuito da presente invenção pode reduzir a potência de consumo da carga, em vista de uma carga.

15 A presente invenção é operada para transferir potência ressonante a uma carga através de um transformador, e pode ser analisada como um circuito ressonante em série ou em paralelo. Portanto, a presente invenção pode ser aplicada de uma maneira útil às aplicações de potência industrial  
20 enquanto satisfaz a leis de conservação de energia.

Embora as realizações preferidas da presente invenção sejam apresentadas para finalidades ilustrativas, os elementos versados na técnica irão apreciar que várias modificações, adições e substituições são possíveis, sem que  
25 se desvie do âmbito e caráter da invenção tal como indicado nas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. CIRCUITO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA RESSONANTE AMPLIFICADA A UMA CARGA, caracterizado pelo fato de compreender: uma fonte de energia para produzir e aplicar uma  
5 voltagem ou uma corrente; um amplificador de potência para gerar potência ressonante amplificada utilizando a voltagem ou a corrente; e uma unidade de transferência de potência para transferir a potência ressonante amplificada à carga utilizando um transformador.

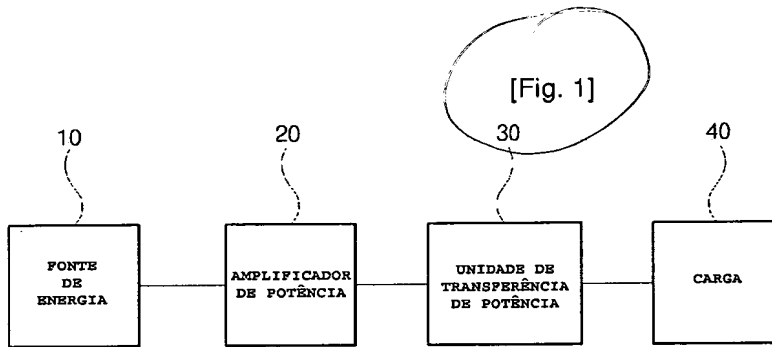
10 2. CIRCUITO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a fonte de energia é uma dentre uma fonte de voltagem C.A., uma fonte de corrente C.A., uma fonte de voltagem C.C. e uma fonte de corrente C.C.

15 3. CIRCUITO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o amplificador de potência inclui: um indutor primário do transformador; e um capacitor conectado ao indutor primário em série ou em paralela, em que a potência ressonante amplificada é armazenada no indutor primário.

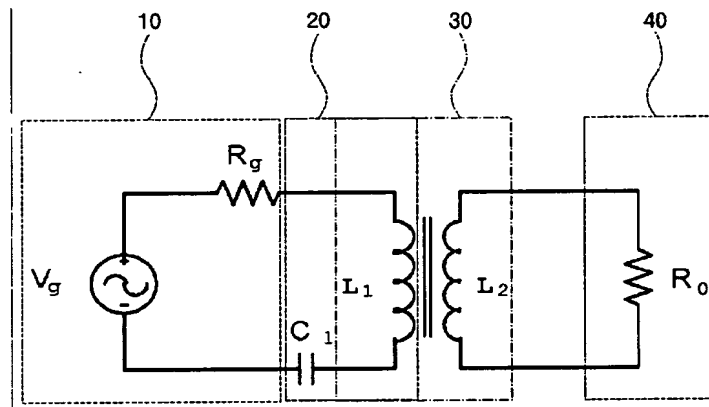
20 4. CIRCUITO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a impedância refletiva no lado do primário do transformador tem um valor relativamente pequeno de maneira tal que o amplificador de potência pode manter a ressonância, em que a resistência refletiva ( $R_{21}$ ) em  
25 da impedância refletiva ( $Z_{21}$ ) é menor do que a reatância indutiva equivalente ( $XL_1$ ) do lado do primário do transformador que transfere a potência ressonante, e a reatância refletiva ( $X_{21}$ ) é menor do que 0,5 da reatância indutiva equivalente ( $XL_1$ ) do lado do primário do  
30 transformador.

5. CIRCUITO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito amplifica a potência utilizando ressonância em paralelo, e transfere a

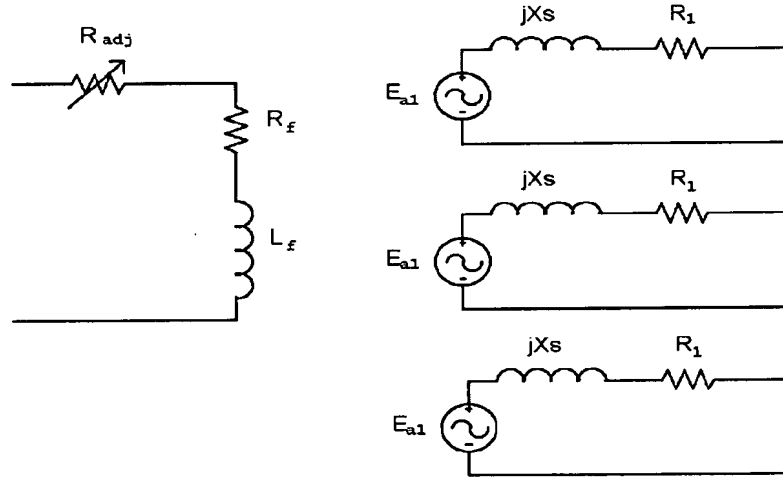
potência ressonante amplificada à carga, de maneira tal que a potência de consumo da carga pode ser reduzida.



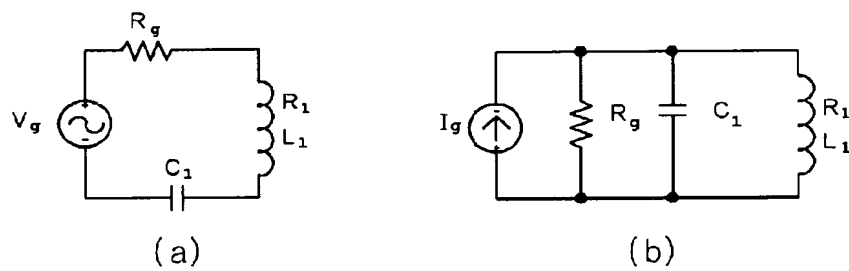
[Fig. 2]



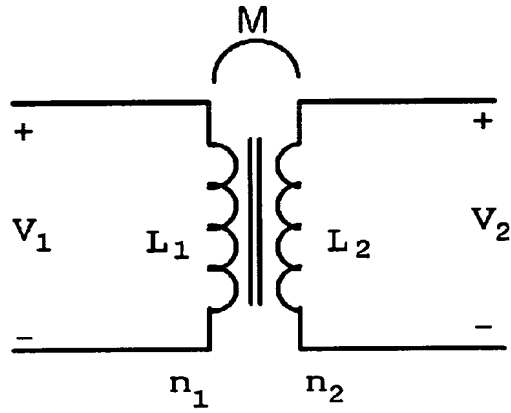
[Fig. 3]



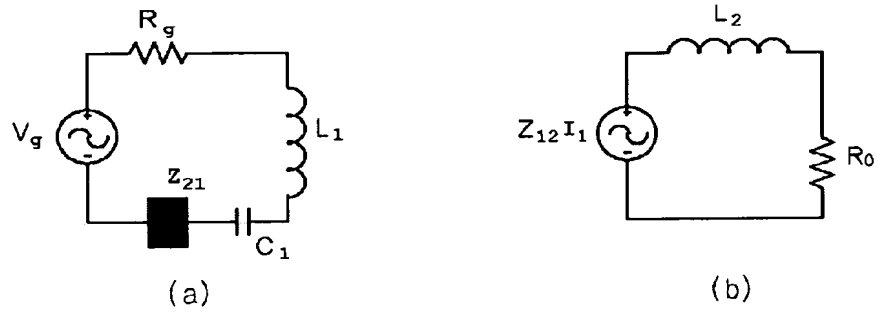
[Fig. 4]



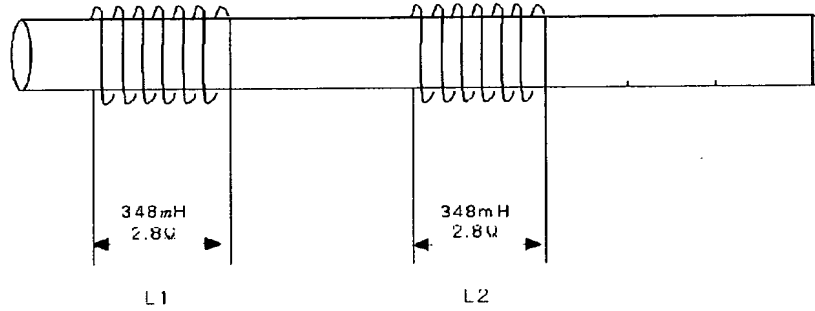
[Fig. 5]



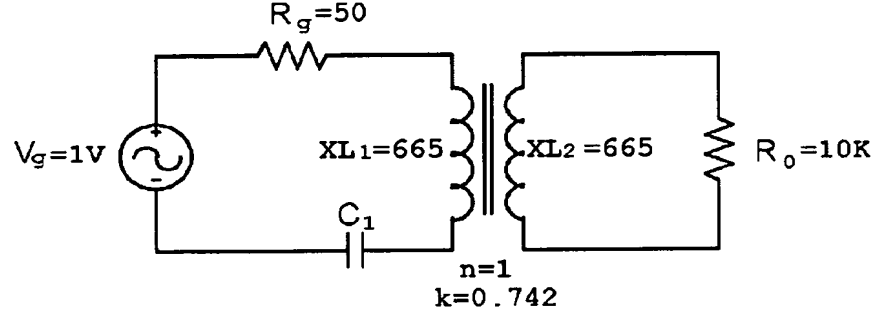
[Fig. 6]



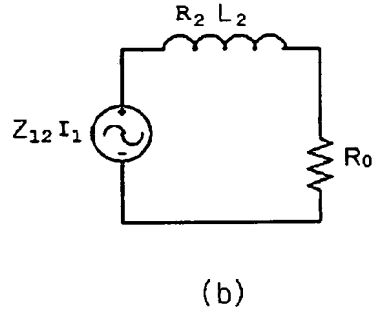
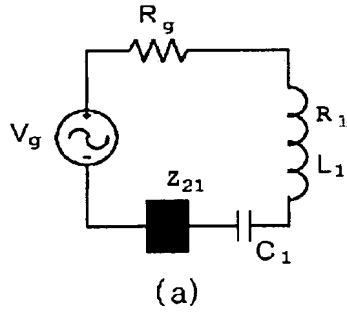
[Fig. 7]



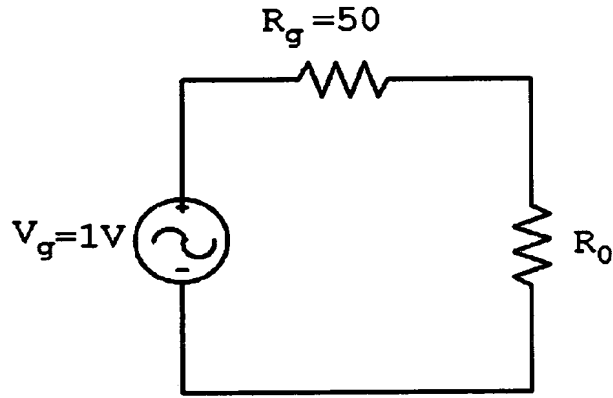
[Fig. 8]



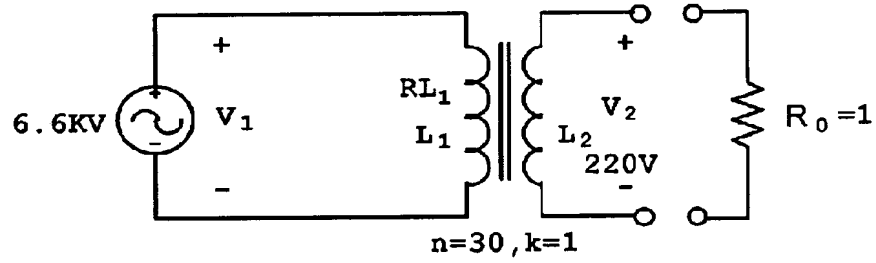
[Fig. 9]



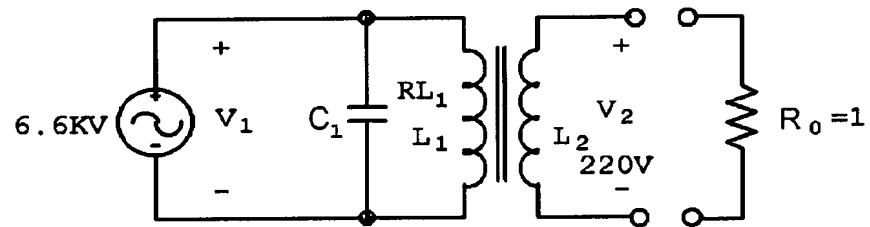
[Fig. 10]



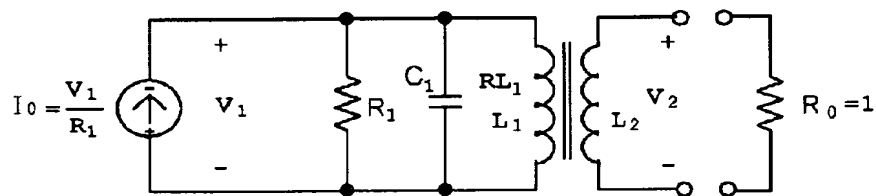
[Fig. 11]

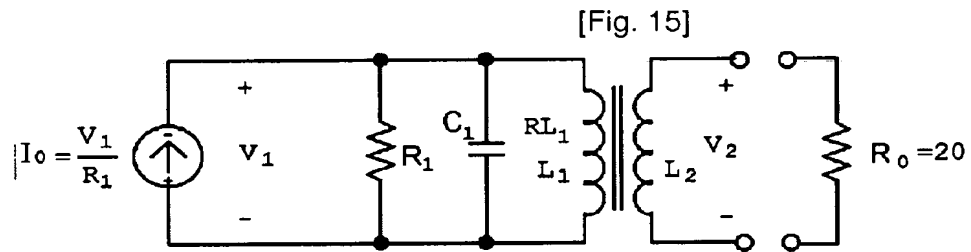
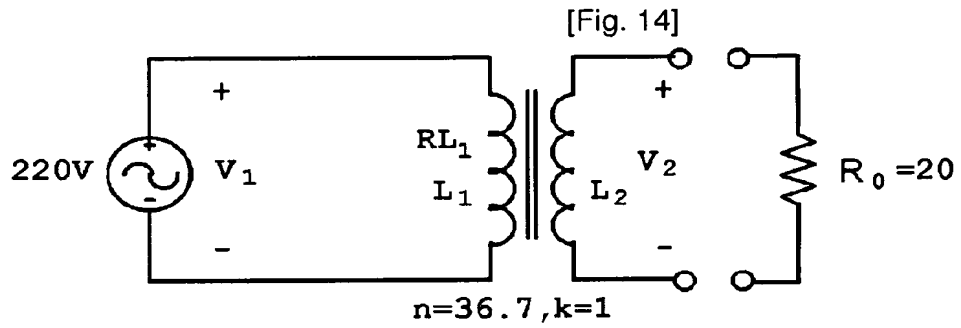


[Fig. 12]



[Fig. 13]





RESUMOCIRCUITO PARA TRANSFERIR POTÊNCIA RESSONANTE  
AMPLIFICADA A UMA CARGA

Trata-se de um circuito para transferir potência  
5 ressonante amplificada a uma carga. O circuito transfere a  
potência ressonante amplificada, a qual é gerada em um  
indutor de um transformador convencional quando a ressonância  
em série ou em paralelo de uma fonte de energia convencional  
é formada, a uma carga através de um transformador  
10 convencional. O circuito compreende: uma fonte de energia  
para produzir e aplicar uma voltagem ou uma corrente; um  
amplificador de potência para gerar potência ressonante  
amplificada, utilizando a voltagem ou a corrente; e uma  
unidade de transferência de potência para transferir a  
15 potência ressonante amplificada à carga utilizando um  
transformador.