

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

|                                                                    |                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (22) Data de pedido: <b>1999.10.27</b>                             | (73) Titular(es):<br><b>WOBEN PROPERTIES GMBH</b><br><b>DRECKAMP 5 26605 AURICH</b><br><b>DE</b>                                          |
| (30) Prioridade(s): <b>1999.02.25 DE 19908124</b>                  |                                                                                                                                           |
| (43) Data de publicação do pedido: <b>2005.11.23</b>               | (72) Inventor(es):<br><b>ALOYS WOBEN</b><br><b>DE</b>                                                                                     |
| (45) Data e BPI da concessão: <b>2015.04.22</b><br><b>179/2015</b> | (74) Mandatário:<br><b>ANTÓNIO INFANTE DA CÂMARA TRIGUEIROS DE ARAGÃO</b><br><b>RUA DO PATROCÍNIO, Nº 94 1399-019 LISBOA</b><br><b>PT</b> |

(54) Epigrafe: **INVERSOR SEM HARMÓNICOS**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE A UM INVERSOR, OU SEJA A UM FILTRO DE SAÍDA PARA INVERSORES. A CORRENTE DE SAÍDA DE UM INVERSOR PARA POTÊNCIAS MAIS ELEVADAS APRESENTA, REGRA GERAL, UMA SÉRIE DE HARMÓNICOS DE CORRENTE. ESTES HARMÓNICOS SÃO INTERFERENTES E SURGEM DE UMA FORMA INCONVENIENTE, EM PARTICULAR QUANDO POTÊNCIAS MAIORES TÊM QUE SER INTRODUZIDAS NUMA REDE ATRAVÉS DE INVERSORES. POR ESTE MOTIVO É OBJETIVO DA INVENÇÃO ELIMINAR AS DESVANTAGENS REFERIDAS ANTERIORMENTE, DE MODO QUE APENAS UMA CORRENTE COM HARMÓNICOS MUITO PEQUENOS, SE POSSÍVEL SEM NENHUNS, É INTRODUZIDA. PARA ALÉM DISSO, O CIRCUITO INTERMEDIÁRIO DE TENSÃO CONTÍNUA DO INVERSOR DEVE SER ESTABILIZADO NO QUE SE REFERE AO POTENCIAL ELÉTRICO (VALOR DA TENSÃO EM RELAÇÃO À CAIXA, TERRA OU EM RELAÇÃO AO SISTEMA TRIFÁSICO). 1. INVERSOR PARA A GERAÇÃO DE UMA CORRENTE ALTERNADA OU TRIFÁSICA A PARTIR DE UMA TENSÃO CONTÍNUA COM - UM CIRCUITO INTERMEDIÁRIO DE TENSÃO CONTÍNUA E - NO LADO DE SAÍDA, UMA BOBINA (LA) DE SAÍDA, - SENDO QUE OS HARMÓNICOS SIMÉTRICOS QUE SURGEM NO LADO DE SAÍDA SÃO ACOPLADOS NO CIRCUITO INTERMEDIÁRIO DE TENSÃO CONTÍNUA.

## **RESUMO**

### **"INVERSOR SEM HARMÔNICOS"**

A presente invenção refere-se a um inversor, ou seja a um filtro de saída para inversores. A corrente de saída de um inversor para potências mais elevadas apresenta, regra geral, uma série de harmónicos de corrente. Estes harmónicos são interferentes e surgem de uma forma inconveniente, em particular quando potências maiores têm que ser introduzidas numa rede através de inversores.

Por este motivo é objetivo da invenção eliminar as desvantagens referidas anteriormente, de modo que apenas uma corrente com harmónicos muito pequenos, se possível sem nenhuns, é introduzida. Para além disso, o circuito intermediário de tensão contínua do inversor deve ser estabilizado no que se refere ao potencial elétrico (valor da tensão em relação à caixa, terra ou em relação ao sistema trifásico).

1. Inversor para a geração de uma corrente alternada ou trifásica a partir de uma tensão contínua com

- um circuito intermediário de tensão contínua e
- no lado de saída, uma bobina (LA) de saída,
- sendo que os harmónicos simétricos que surgem no lado de saída são acoplados no circuito intermediário de tensão contínua.

## DESCRIÇÃO

### "INVERSOR SEM HARMÓNICOS"

A presente invenção refere-se a um inversor, ou seja a um filtro de saída para inversores. A corrente de saída de um inversor para potências mais elevadas apresenta, regra geral, uma série de harmónicos de corrente. Estes harmónicos são interferentes e surgem de uma forma inconveniente, em particular quando potências maiores têm que ser introduzidas numa rede através de inversores.

A figura 1 mostra um inversor com uma bobina de saída e uma rede de filtragem de condensador que reduz nitidamente a desvantagem técnica anteriormente descrita dos inversores e melhora consideravelmente a qualidade da corrente. Os disjuntores T1 a T6 e os díodos ligados em paralelo aos mesmos são comutados mediante uma modulação por largura de pulso dos disjuntores, de tal modo que na saída do inversor se originam três fases U, V, W sinusoidais de corrente de saída. A forma da corrente de saída é aproximada a uma oscilação sinusoidal através de um ligar e desligar dos disjuntores T1 - T6 individuais. Neste caso originam-se contudo os harmónicos referidos devido aos desvios inevitáveis do valor nominal.

Na rede trifásica, estes harmónicos gerados são, em soma, iguais a zero em cada momento. Isto é assim em todos os casos, uma vez que não existem nenhuns outros trajetos de corrente (outros circuitos eléctricos). Neste caso originam-se apenas harmónicos simétricos. Em seguida tenta-se, através de circuitos

de filtragem - tais como se encontra também representado na figura 1, no lado de saída - compensar estes harmónicos. Devido ao facto de a rede elétrica apresentar, em parte, igualmente impedâncias (resistências) muito baixas para determinadas frequências, devido aos revestimentos indutivos e capacitivos (componentes da linha de transmissão), continuam a entrar percentagens demasiado elevadas dos harmónicos na rede pública de distribuição.

A partir do documento 5.661.390 A é conhecido um acionamento motorizado alimentado por um conversor, com um circuito de absorção no lado de saída, para a redução de interferências eletromagnéticas que se originam.

A partir do documento EP 0758161 A2 é conhecido um outro acionamento motorizado alimentado por um conversor, no qual são suprimidas emissões de interferências conduzidas.

A partir do documento US 5.831.842 A é conhecido um dispositivo para a rejeição ativa em modo comum, que elimina interferências que se originam devido a alterações progressivas de uma tensão em modo comum, que é gerada aquando da comutação de um dispositivo semiconductor de potência de um conversor de potência.

É objetivo da invenção eliminar as desvantagens referidas no estado da técnica, de modo que apenas uma corrente com harmónicos muito pequenos, se possível sem nenhuns, é introduzida na rede pública de distribuição. Para além disso, o circuito intermediário de tensão contínua do inversor deve ser estabilizado no que se refere ao potencial elétrico (valor da

tensão em relação à caixa, terra ou em relação ao sistema trifásico).

Para a solução do objetivo colocado propõe-se, de acordo com a invenção, um inversor com as características da reivindicação 1. Aperfeiçoamentos vantajosos encontram-se descritos nas reivindicações dependentes.

Com o inversor de acordo com a invenção são gerados harmónicos assimétricos no lado de saída do inversor e reconduzidos para o circuito intermediário de corrente contínua. Para a geração dos harmónicos assimétricos está previsto, para além da bobina de saída trifásica disposta na saída do inversor, adicionalmente um outro enrolamento (quarto ramo). Este outro enrolamento transmite fluxos magnéticos assimétricos que se originam a partir dos harmónicos assimétricos. Os harmónicos são coletados através de três circuitos osciladores, por exemplo três circuitos LC. Os harmónicos simétricos, caso ainda existam, são diretamente compensados por estes circuitos osciladores. Os harmónicos assimétricos ( $\Sigma i \neq 0$ ) são reconduzidos para o circuito intermediário de tensão contínua. A soma dos harmónicos assimétricos é tomada no ponto neutro dos circuitos osciladores (dos condensadores de filtragem dos circuitos osciladores) e conduzida ou acoplada, através de um enrolamento no quarto ramo, no barramento negativo do circuito intermediário de tensão contínua. Deste modo resulta um "circuito de harmónicos" fechado que se encontra representado em desenho na figura 2.

A corrente total dos harmónicos assimétricos que é tomada no ponto neutro dos circuitos osciladores gera fluxos magnéticos no quarto ramo da bobina de saída. Em função da situação atual, estes fluxos magnéticos circulam de volta para dentro dos três

ramos principais da bobina de saída e apoiam deste modo a indutância de saída. Como resultado verifica-se uma indutância de saída aproximadamente 5% a 20% mais elevada do que no caso de uma bobina trifásica habitual. Devido ao facto de no quarto enrolamento circular apenas a corrente de harmónicos, originam-se neste caso - em relação aos enrolamentos principais da bobina - apenas perdas de cobre muito pequenas.

A invenção e os aperfeiçoamentos convenientes, bem como as suas vantagens encontram-se explicados a título de exemplo na seguinte descrição dos desenhos. Mostram:

Figura 1 um esquema de princípio de um inversor conhecido;

Figura 2 um esquema de princípio de um inversor de acordo com a invenção;

Figura 3 um diagrama de medição de um inversor de acordo com a invenção;

Figura 4 um recorte da figura 3 com uma resolução ampliada;

Figura 5 um diagrama de medição de um inversor de acordo com a invenção;

Figura 6 um diagrama de medição de um inversor de acordo com a invenção;

Figura 7 um esquema de circuitos de uma forma de realização preferida de um inversor de acordo com a invenção;

Figura 8 um diagrama de medição de corrente para o inversor e corrente da rede.

A figura 1 mostra o esquema de circuitos de um inversor conhecido que, devido ao circuito antiparalelo dos disjuntores T1 a T6 com respetivamente um diódo D1-D6, possibilita um funcionamento em quatro quadrantes e, por conseguinte, pode ser utilizado de uma forma muito diversificada como circuito. No caso do inversor conhecido, para gerar a meia onda positiva da corrente de saída, efetua-se um ligar e desligar sucessivo dos disjuntores  $T_n$  ( $n = 1, 3, 5$ ) e  $T_{n+1}$  ( $n = 2, 4, 6$ ). Para uma meia onda da corrente de saída da fase U da corrente trifásica, isto significa que T1 e T6 são várias vezes ligados e desligados sucessivamente durante uma meia onda. Um circuito intermediário de tensão contínua com dois condensadores C4 e C5 eletrolíticos ligados em série, para a introdução da tensão contínua  $+U_d$  e  $-U_d$ , encontra-se ligado a montante dos disjuntores. No lado de saída, o inversor apresenta uma bobina de saída, LA (LAU, LAV, LAW), bem como um filtro ligado a jusante, constituído por três condensadores C6, C7, C8 que se encontram dispostas entre as respetivas fases. Tal como já foi descrito, a forma da corrente U, V, W trifásica de saída é aproximada a uma oscilação sinusoidal, através de um ligar e desligar direcionado dos disjuntores T1 a T6 individuais. Neste caso originam-se contudo os harmónicos devido aos desvios inevitáveis do valor nominal. Na rede trifásica, estes harmónicos gerados são, na sua soma, iguais a zero ou próximo de zero em cada momento. Isto é assim, devido ao facto de não existirem nenhuns outros trajetos de corrente. Os harmónicos que surgem são contudo sempre simétricos e tenta-se compensar estes harmónicos através de circuitos de filtragem de condensador. Devido ao facto de a rede elétrica apresentar no entanto, em parte, igualmente impedâncias

(resistências) muito baixas para determinadas frequências, devido aos revestimentos indutivos e capacitivos (componentes da linha de transmissão), continuam a entrar percentagens elevadas dos harmónicos na rede pública de distribuição, o que é muito indesejável.

A figura 2 mostra o esquema de circuitos de um inversor de acordo com a invenção. Este apresenta, tal como o inversor conhecido, um circuito intermediário de tensão contínua, disjuntores T1 - T6 e díodos D1 - D6 ligados em paralelo com os mesmos, bem como uma bobina LA de saída.

O inversor de acordo com a invenção gera harmónicos assimétricos. Para este efeito está previsto um enrolamento L4 adicional (ramo adicional). Este quarto ramo L4 transmite os fluxos magnéticos assimétricos que se originam a partir dos harmónicos assimétricos. Os harmónicos são coletados através de três circuitos LC osciladores, ou seja três circuitos L-C, constituídos pelas indutâncias L1 a L3, bem como pelos condensadores C1 a C3 e por um ponto neutro comum. Os harmónicos simétricos, desde que ainda existam, são diretamente compensados por estes circuitos LC osciladores. Os harmónicos L4 assimétricos ( $\Sigma i \neq 0$ ) são conduzidos, através do ponto neutro, para o enrolamento do quarto ramo L4. Este quarto enrolamento L4 está ligado ao barramento negativo do circuito intermediário de tensão contínua. A soma dos harmónicos assimétricos é por conseguinte tomada no ponto neutro dos condensadores de filtragem e acoplada, através do enrolamento no quarto ramo L4, no circuito intermediário de tensão contínua. Deste modo resulta um circuito de harmónicos fechado para os harmónicos assimétricos.

A corrente total dos harmónicos assimétricos que é tomada no ponto neutro dos condensadores gera fluxos magnéticos no quarto ramo da bobina LA de saída. Em função da respetiva situação, estes fluxos magnéticos circulam de volta para dentro dos ramos principais da bobina LA de saída, acoplados magneticamente ao quarto ramo, e apoiam a indutância de saída da mesma.

Como resultado obtém-se uma indutância LA de saída aproximadamente 5-20% mais elevada do que no caso de uma bobina trifásica habitual. Devido ao facto de no quarto enrolamento LA4 circular apenas a corrente de harmónicos dos harmónicos assimétricos, originam-se neste caso apenas perdas de cobre muito pequenas, quando comparado com as nos enrolamentos LA1, LA2, LA3 principais.

A figura 3 mostra um diagrama de medição do inversor de acordo com a figura 2. A curva superior mostra a alternância sinusoidal positiva da corrente na saída do inversor. Neste caso, a histerese da corrente é constante e a frequência de comutação é variável. A curva inferior mostra a soma dos harmónicos das três fases de saída do inversor que circulam, através do quarto ramo, de volta para dentro do circuito intermediário de tensão contínua.

A figura 4 mostra mais uma vez uma parte da corrente de saída do inversor da fase 1 numa resolução mais elevada. Neste caso pode reconhecer-se nitidamente os harmónicos triangulares da corrente IWR LA de saída.

Com o circuito oscilador, constituído por L1 e C1, estes harmónicos são separados da componente fundamental (sinusoidal)

da corrente de saída, na saída da indutância LA de saída. A curva inferior na figura 4 mostra a evolução temporal da corrente IL1C1 em L1 e C1.

A figura 5 mostra o resultado da separação dos harmónicos, da corrente principal (componente fundamental 50 Hz). A curva superior mostra a corrente de saída sem harmónicos. Este resultado muito bom é apenas possível com o circuito de harmónicos de acordo com a invenção. Neste caso, tal como pode ser reconhecido nas figuras, próximo de 100% dos harmónicos gerados são reconduzidos pelo inversor para o circuito intermediário de corrente contínua. A curva central na figura 5 mostra a corrente IWR LA do inversor e a curva inferior na figura 5 mostra mais uma vez a correspondente corrente de harmónicos.

A figura 6 (curva inferior) mostra a soma das três correntes I21, I22 e I23 de harmónicos. Esta corrente que contém quase todos os harmónicos das três fases é agora mais uma vez utilizada para aumentar o efeito da bobina LA de saída. Esta bobina é constituída, tal como já foi descrito, pelos três ramos LA1, LA2, LA3 principais para os três enrolamentos de saída principais e por um quarto ramo secundário pequeno que está apenas previsto para os harmónicos. Este quarto ramo conduz apenas os fluxos magnéticos que correspondem à soma dos harmónicos. A correspondente amplitude desta corrente total dos harmónicos encontra-se representada na figura 6, curva inferior. A curva superior mostra a correspondente evolução da tensão. Para alcançar este objetivo, uma secção transversal do ferro de aproximadamente 20% dos ramos principais é suficiente para o quarto ramo. O quarto ramo aumenta no entanto a indutância LA de saída atuante em aproximadamente 5-20%. Daí resulta uma altura

de construção mais pequena da bobina LA de saída e um melhor rendimento.

A figura 7 mostra um aperfeiçoamento do inversor de acordo com a invenção. Neste caso, a bobina de saída é construída em duas partes e constituída por uma bobina de quatro ramos e uma bobina LA2 trifásica compensada ligada em série com a mesma. Para correntes de harmónicos assimétricos podem ser utilizadas, de um modo vantajoso, bobinas compensadas por corrente. Devido ao facto de a soma da corrente da rede (corrente trifásica) ser igual a zero, a bobina não é carregada (pré-magnetizada) com as componentes fundamentais muito elevadas. Por conseguinte, com pouco esforço, pode ser estabelecida uma indutância elevada.

A figura 8, curva superior, mostra a soma das três correntes de saída, na saída do inversor a montante do filtro. A amplitude máxima perfaz neste caso apenas 10% do valor máximo de uma corrente de fase. A curva inferior mostra a soma das correntes de saída a jusante do filtro. Como se pode ver, esta corrente de saída é de uma qualidade elevadíssima e não acopla nenhuns harmónicos negativos na rede.

O circuito intermediário de tensão contínua é também simultaneamente estabilizado com o circuito de harmónicos fechado. O ponto neutro dos três condensadores tem um potencial em repouso, em princípio idêntico à terra. Devido ao facto de este ponto estar ligado estaticamente ao circuito intermediário através da indutância, uma corrente de compensação circula através do mesmo quando o potencial do circuito intermediário se altera. Os potenciais em carga variável são prejudiciais para geradores que abastecem o circuito intermediário de tensão contínua, uma vez que, devido a alterações de tensão ( $dU/dt$ ),

circularia uma corrente capacitiva através do isolamento e, a longo prazo, provocaria danos no isolamento.

De um modo preferido, um inversor de acordo com a invenção é utilizado num sistema gerador de energia elétrica, por exemplo num aerogerador. Tais sistemas geradores de energia elétrica abastecem então a rede com uma corrente de qualidade elevadíssima, o que tem também como consequência que o respetivo operador da rede tem que adotar menos medidas para garantir a qualidade da corrente.

Lisboa, 21 de julho de 2015

## **REIVINDICAÇÕES**

1. Inversor para a geração de uma corrente alternada ou trifásica a partir de uma tensão contínua com
  - um circuito intermediário de tensão contínua e
  - no lado de saída, uma bobina (LA) de saída, caracterizado por
  - três circuitos (LC) osciladores, constituídos pelas indutâncias L1 a L3, bem como pelos condensadores C1 a C3 e por um ponto neutro comum, de modo a compensar harmónicos simétricos que surgem no lado de saída;
  - um enrolamento adicional que está ligado, através de uma linha direta, entre o ponto neutro e o circuito intermediário de tensão contínua, de modo a acoplar os harmónicos assimétricos que surgem no lado de saída, no circuito intermediário de tensão contínua.
2. Inversor de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por uma corrente alternada ou trifásica ser emitida pelo inversor através de linhas M, sendo que as linhas M estão acopladas entre si através dos circuitos osciladores.
3. Inversor de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a bobina de saída transmitir fluxos magnéticos assimétricos que se originam a partir dos harmónicos assimétricos.
4. Inversor de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por a bobina de saída ser constituída por  $m + 1$  ramos, sendo que  $m$  é um número natural, sendo que cada fase da corrente trifásica está associada a um ramo e os fluxos magnéticos

assimétricos que se originam a partir dos harmónicos assimétricos são transmitidos mediante o  $m + 1$  primeiro ramo.

5. Inversor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por os  $m + 1$  ramos estarem acoplados magneticamente entre si e os fluxos magnéticos que surgem no  $m + 1$  ramo circularem de volta para dentro dos  $m$  ramos da bobina de saída.
6. Inversor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o  $m + 1$  ramo ser apenas atravessado por uma corrente de harmónicos.
7. Inversor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a bobina de saída ser uma bobina compensada por corrente.
8. Inversor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, no qual a bobina de saída é constituída por uma bobina de quatro ramos e uma bobina trifásica ligada em série.
9. Inversor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o circuito intermediário de tensão contínua ser estabilizado com o circuito de harmónicos fechado.
10. Sistema gerador de energia elétrica, nomeadamente um aerogerador, com um inversor para a geração de uma corrente alternada ou trifásica, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores.

Lisboa, 21 de julho de 2015

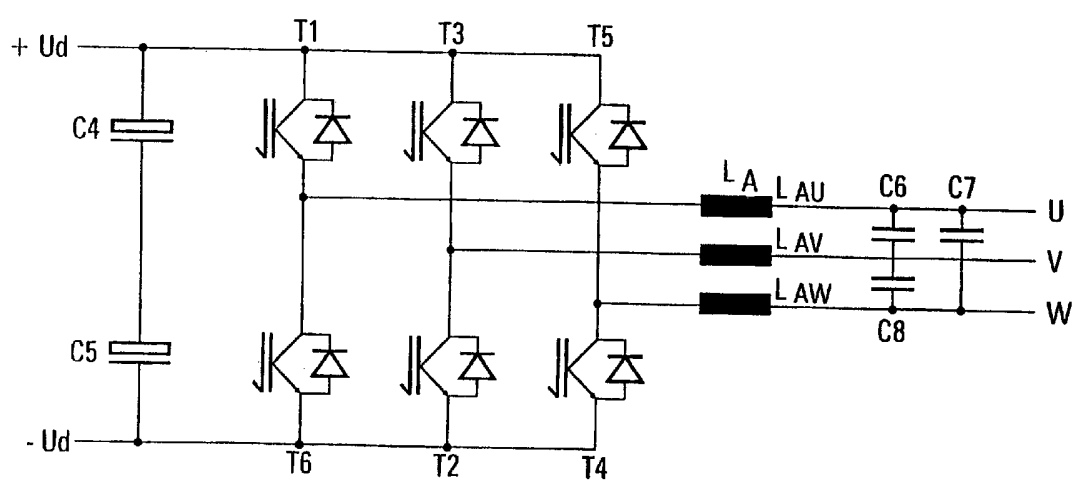


Fig. 1

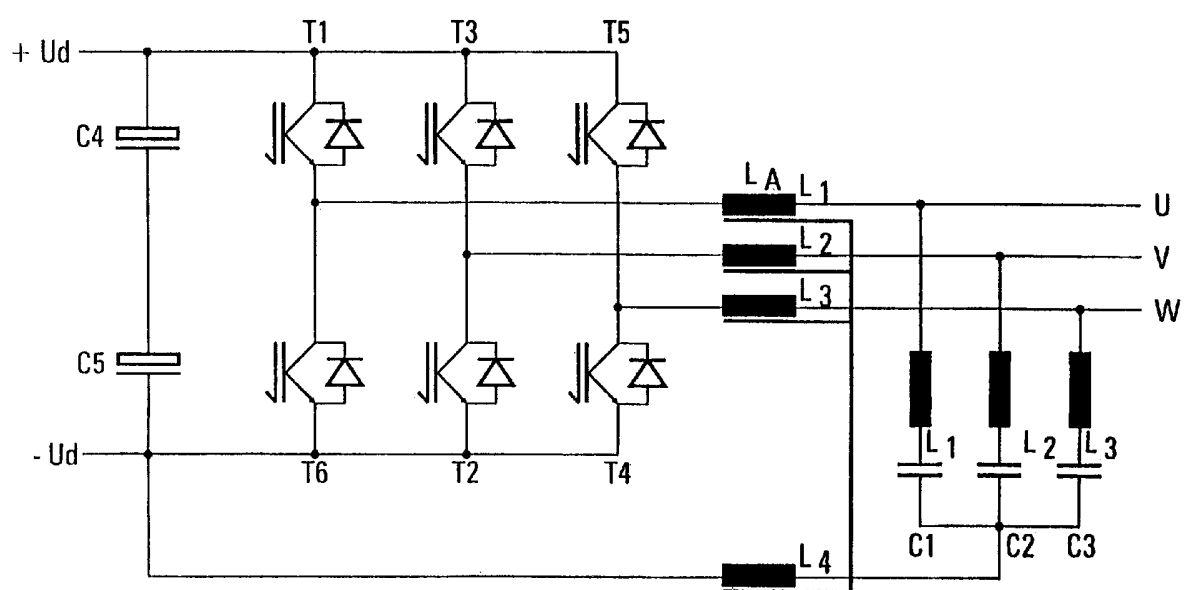


Fig. 2

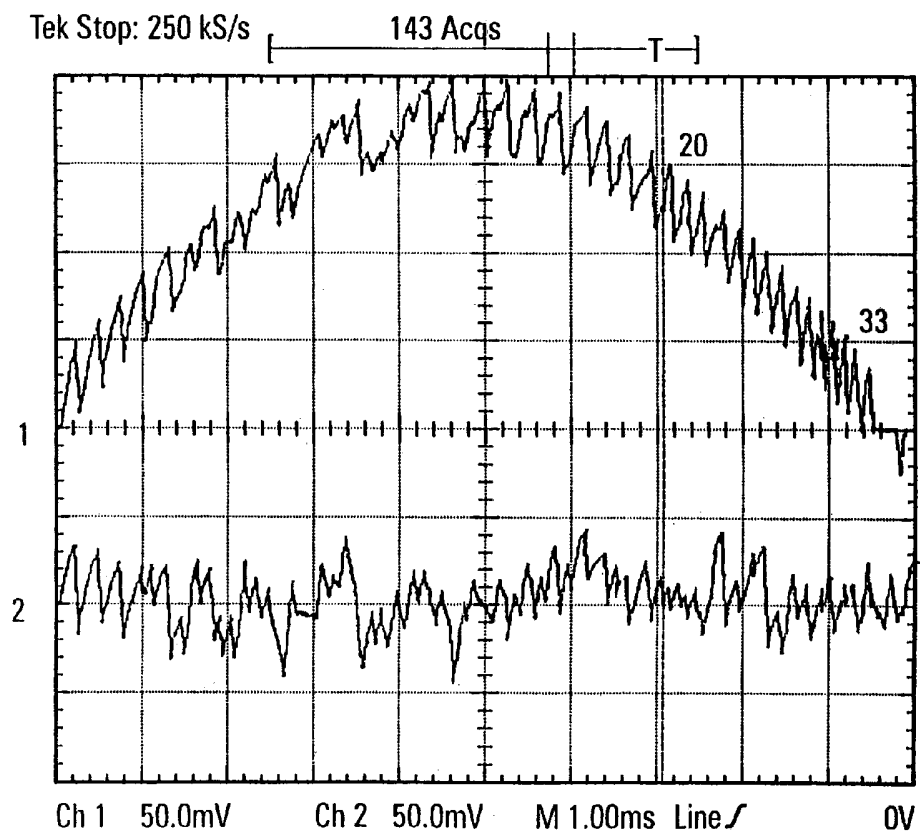


Fig. 3

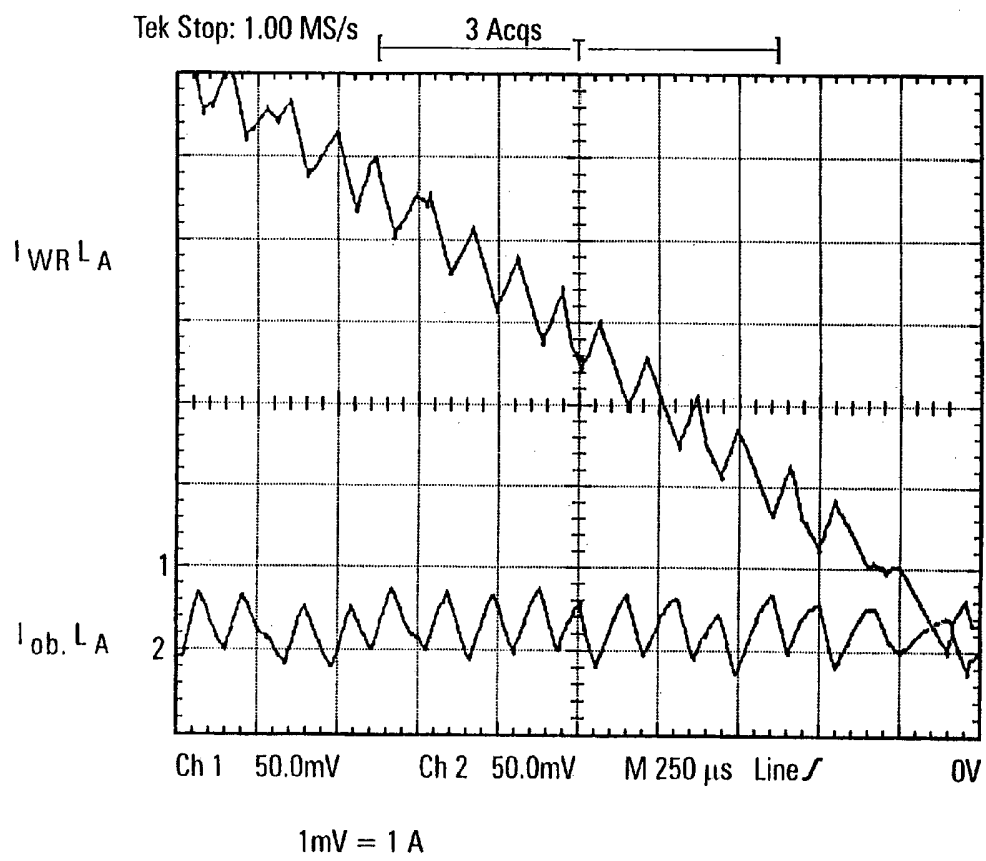


Fig. 4

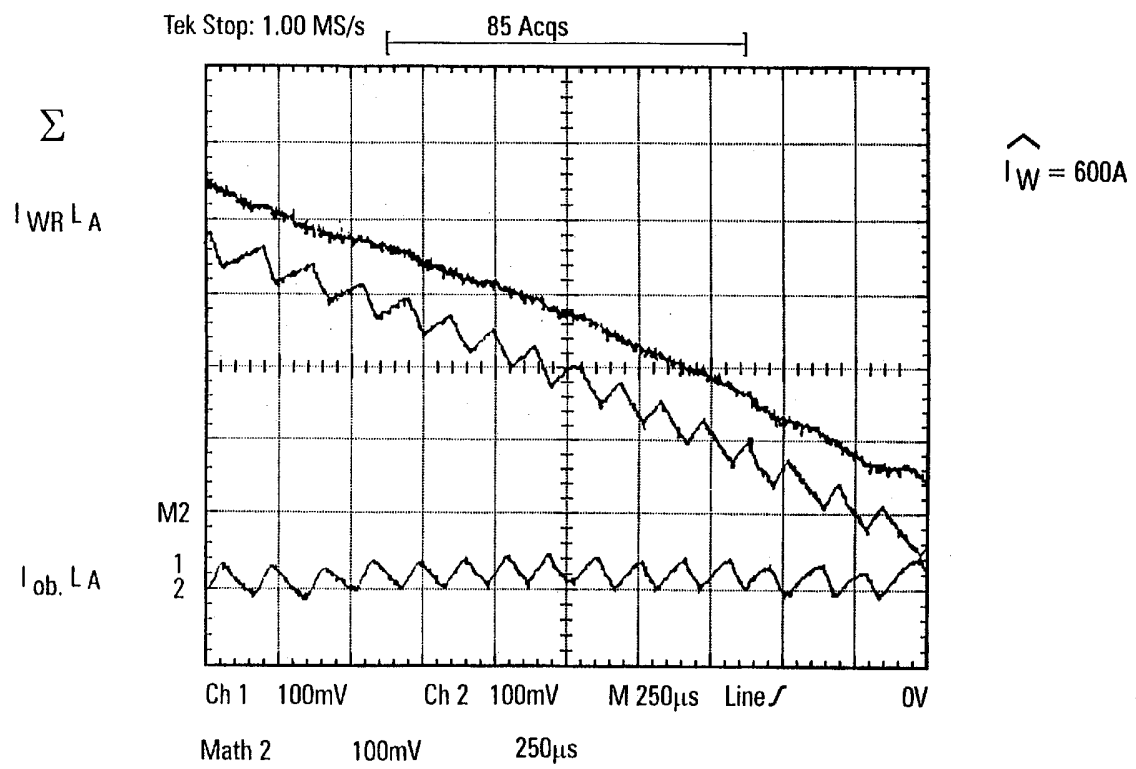


Fig. 5

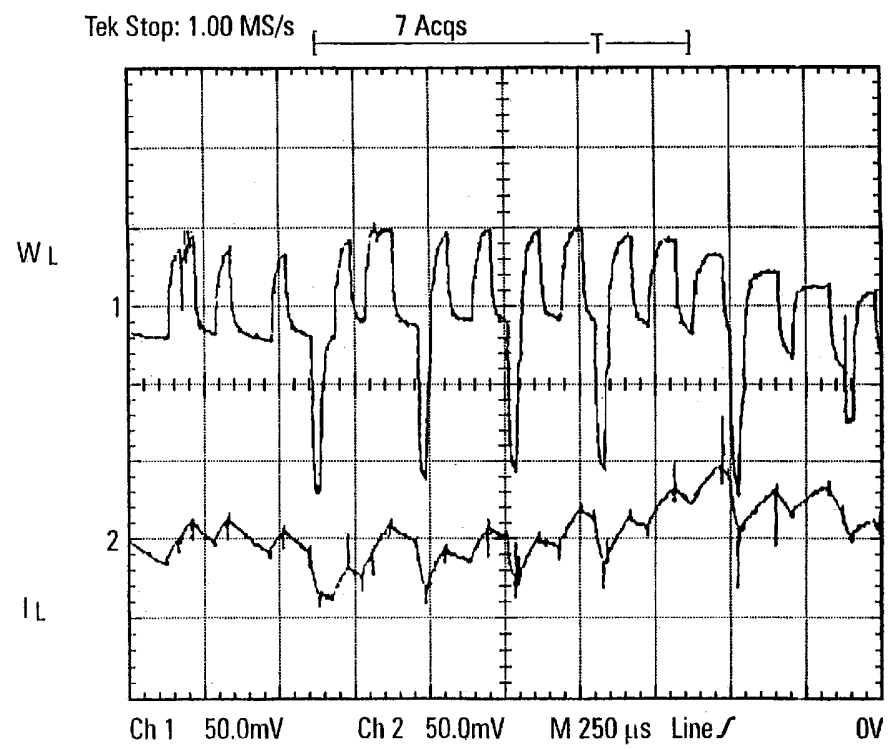


Fig. 6

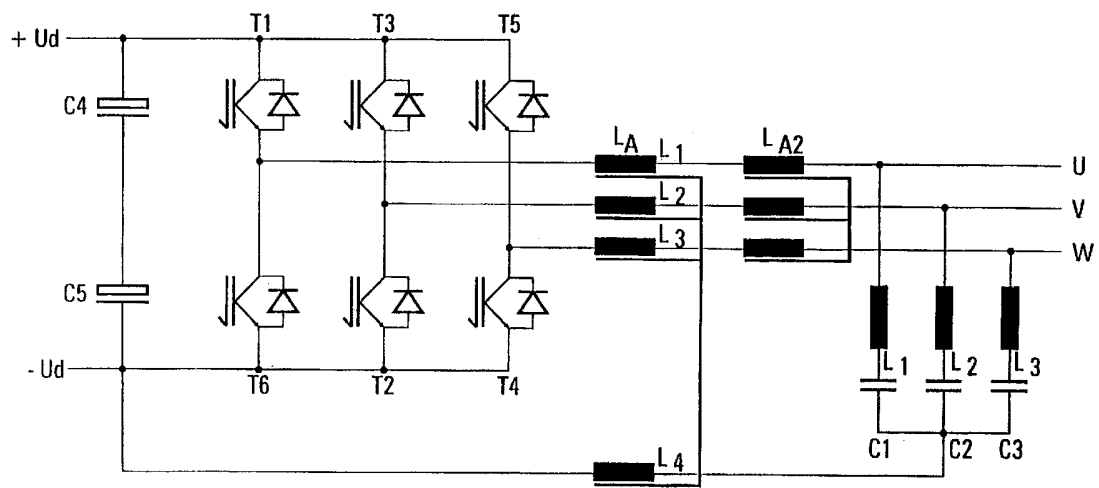


Fig. 7

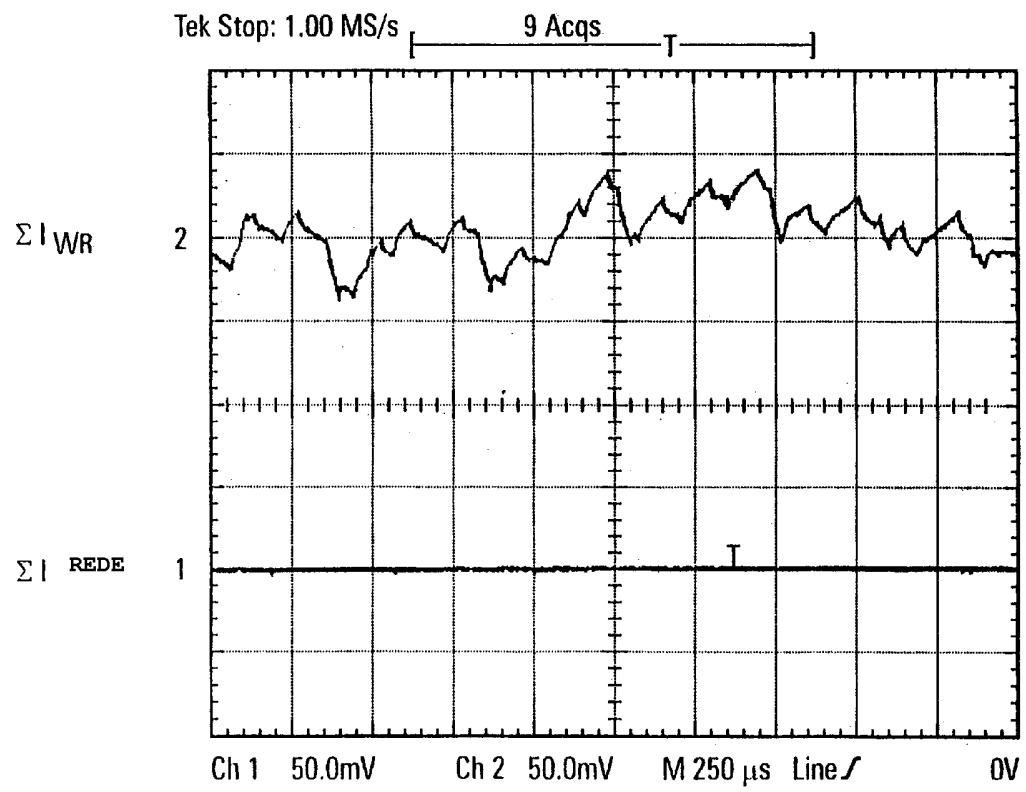


Fig. 8