

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2007.06.14	(73) Titular(es): ABB TECHNOLOGY AG
(30) Prioridade(s): 2006.06.30 US 817352 P	AFFOLTERNSTRASSE 44 8050 ZURICH CH
(43) Data de publicação do pedido: 2009.03.18	(72) Inventor(es): YING JIANG-HÄFNER SE
(45) Data e BPI da concessão: 2010.07.21 230/2010	(74) Mandatário: MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **SISTEMA HVDC E MÉTODO PARA CONTROLAR UM CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO NUM SISTEMA HVDC**

(57) Resumo:

UM MÉTODO PARA CONTROLAR UM CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO (CON1; CON2) NUM SISTEMA HVDC COMPREENDENDO A ETAPA DE CONTROLO DE UMA FREQUÊNCIA E AMPLITUDE DE TENSÃO DE UMA TENSÃO AC (UV1; UV2), GERADA PELO CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO (CON1; CON2) DE MODO INDEPENDENTE DAS CONDIÇÕES EXISTENTES NUMA REDE AC (N1; N2) CONECTADA AO CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO (CON1; CON2). ESTE MÉTODO É EXECUTADO POR UMA UNIDADE DE CONTROLO DE UM SISTEMA HVDC. NUMA FORMA DE REALIZAÇÃO ESPECIAL, O MÉTODO FORMA A BASE DE UM MÉTODO PARA O ARRANQUE SEM ALIMENTAÇÃO ELÉCTRICA DE UMA REDE AC, EM QUE A REDE AC COMPREENDE LINHAS DE TRANSMISSÃO E ESTÁ CONECTADA A PELO MENOS DUAS ESTAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO AC, EM QUE UMA DAS PELO MENOS DUAS ESTAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO AC ESTÁ CONECTADA À REDE AC ATRAVÉS DO SISTEMA HVDC.

RESUMO

"SISTEMA HVDC E MÉTODO PARA CONTROLAR UM CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO NUM SISTEMA HVDC"

Um método para controlar um conversor de fonte de tensão (CON1; CON2) num sistema HVDC compreendendo a etapa de controlo de uma frequência e amplitude de tensão de uma tensão AC (UV1; UV2), gerada pelo conversor de fonte de tensão (CON1; CON2) de modo independente das condições existentes numa rede AC (N1; N2) conectada ao conversor de fonte de tensão (CON1; CON2). Este método é executado por uma unidade de controlo de um sistema HVDC. Numa forma de realização especial, o método forma a base de um método para o arranque sem alimentação eléctrica de uma rede AC, em que a rede AC compreende linhas de transmissão e está conectada a pelo menos duas estações de alimentação AC, em que uma das pelo menos duas estações de alimentação AC está conectada à rede AC através do sistema HVDC.

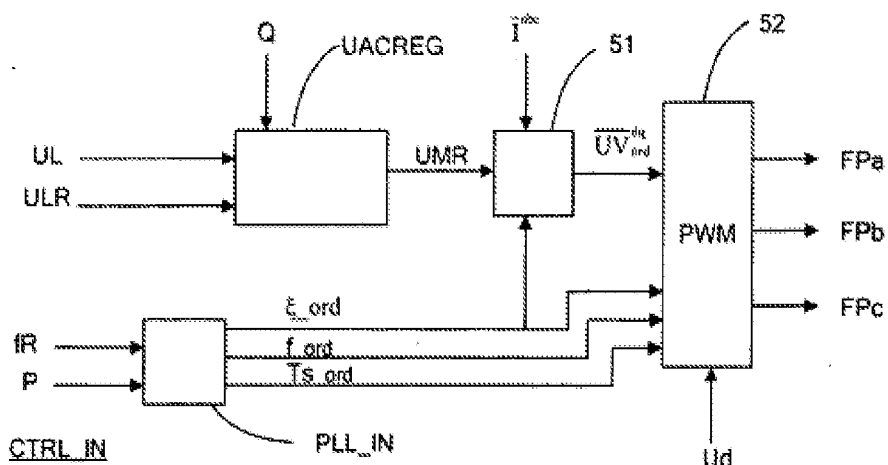


FIG. 4

DESCRIÇÃO

"SISTEMA HVDC E MÉTODO PARA CONTROLAR UM CONVERSOR DE FONTE DE TENSÃO NUM SISTEMA HVDC"

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um método para controlar um conversor de fonte de tensão num sistema de corrente directa de alta tensão (HVDC) e a um sistema HVDC.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Um sistema HVDC compreende uma primeira e segunda estação de conversão, cada uma contendo um conversor de fonte de tensão (VSC) para transferir potência eléctrica a partir de uma primeira rede de corrente alternativa (AC) para uma segunda rede AC.

Os conversores de fonte de tensão (VSC) não são apenas usados em sistemas de corrente directa de alta tensão (HVDC), mas também, por exemplo, como compensadores Var estáticos (SVC). Na aplicação HVDC, o conversor de fonte de tensão está ligado entre uma ligação de corrente directa (DC) e uma rede AC, e na aplicação como compensador Var estático, o conversor de fonte de tensão está ligado entre uma fonte de tensão directa e uma rede AC. Em ambas as aplicações, o conversor de fonte de tensão terá de ser capaz de gerar uma tensão AC da mesma frequência que a existente na rede AC. O fluxo de potência reactiva e activa ao longo do conversor é controlado através da modulação da amplitude e posição de fase, respectivamente, da tensão AC

gerada pelo conversor de fonte de tensão em relação à tensão existente na rede AC.

Em particular, o conversor de fonte de tensão, equipado com transistores ligados em série (IGBT), possibilitou o uso deste tipo de conversores para tensões comparativamente altas. Uma modulação por duração de impulso (PWM) é usada para controlar a tensão AC gerada o que permite um controlo muito rápido da tensão.

O documento US 6400585 divulga um sistema de controlo para controlo de tensão de uma estação de conversão num sistema HVDC. O objectivo do sistema de controlo assenta em manter a tensão de uma ligação de corrente directa, dentro de limites de funcionamento seguros, inclusivamente em condições de tensão irregulares.

O sistema HVDC conhecido compreende uma primeira e segunda estações de conversão, cada uma tendo um conversor de fonte de tensão, ligado entre uma ligação DC e uma rede AC, em cada lado da ligação DC. Um sistema de controlo da corrente para a estação de conversão tem meios para controlar o fluxo de potência activa entre a ligação DC e a rede AC, influenciando a deslocação de fase entre a tensão de barramento na rede AC e a tensão de ponte do conversor de fonte de tensão. Os termos tensão de barramento e tensão de ponte são explicados mais em baixo. O sistema de controlo compreende meios para gerar um sinal de ordem de alteração de fase, em resposta a uma indicação de uma condição de tensão irregular na ligação DC, e meios para influenciar a posição de fase da tensão de ponte, em resposta ao referido sinal de ordem de alteração de fase, de modo a garantir que a deslocação de fase entre a tensão de ponte e a tensão de

barramento irá resultar num fluxo de potência activa a partir da ligação DC para a rede AC. Um circuito laço de bloqueamento de fase (PLL) garante que o sistema de controlo da estação de conversão funciona em sincronia com a posição de fase da tensão de barramento da rede AC.

O fluxo de potência activa no interior da ligação DC deve ser equilibrado. Isto significa que a potência activa que sai da ligação, deverá ser igual à potência recebida pela ligação. Qualquer diferença poderá fazer com que a tensão DC aumente ou diminua rapidamente. Para atingir este equilíbrio de potência, uma das estações de conversão controla a tensão DC. A outra estação de conversão poderá então controlar o fluxo de potência activa da ligação DC através do correspondente controlo da corrente DC. Normalmente, a estação de conversão a montante controla a tensão DC, enquanto que o conversor a jusante controla o fluxo de potência activa.

A partir do documento "An electromagnetic transient simulation model for voltage sourced converter based HVDC transmission" de Qahraman et al, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, Ont., Canadá, 2-5 Maio 2004, vol. 2, páginas 1063-1066, ISBN: 0-7803-8253-6, é divulgado o controlo individual da potência activa e reactiva num conversor de fonte de tensão, em que controladores integrados proporcionais actuam sobre erros de potência reais e reactivos para gerar a magnitude e fase, respectivamente, das referências de tensão para um controlador PWM.

O restabelecimento da potência após uma indisponibilidade de potência de grande área na rede AC ou grelha AC pode

tornar-se difícil. Uma variedade de estações de alimentação precisa de ser restituída à linha. Normalmente, isto é efectuado com o auxílio de potência partir da restante grelha. Na ausência de potência da grelha, é necessário um designado arranque sem alimentação eléctrica para colocar a grelha de potência em funcionamento.

Para fornecer um arranque sem alimentação eléctrica, algumas estações estão tipicamente equipadas com pequenos geradores a diesel os quais podem ser usados para activar grandes geradores com capacidade de vários megawatts, os quais, por sua vez, podem ser usados para activar os geradores principais das estações de alimentação. Os equipamentos de geração, que usam turbinar de vapor, exigem potência de serviço a partir de uma estação, até 10% da sua capacidade, para bombas de segurança, aeradores de combustão forçada e preparação de combustível. É, no entanto, dispendioso fornecer tal capacidade de activação por necessidade para cada estação, sendo portanto necessário fornecer um arranque sem alimentação eléctrica da rede de transmissão eléctrica para outras estações.

Uma sequência típica de arranque sem alimentação eléctrica, com base num cenário real, poderá ser a seguinte:

- Uma bateria activa um pequeno gerador diesel instalado numa estação de geração hidroeléctrica.
- A potência do gerador diesel é usada para colocar em funcionamento a estação de geração hidroeléctrica.
- São energizadas linhas de transmissão principais entre a estação hidroeléctrica e outras áreas.
- A potência proveniente da estação hidroeléctrica é usada para arrancar um dos equipamentos de combustão de carvão.

- A potência proveniente dos equipamentos de combustão de carvão é usada para reiniciar todos os outros equipamentos de alimentação no sistema, incluindo os equipamentos de alimentação nucleares.
- A potência é finalmente reaplicada na rede de distribuição eléctrica e enviada aos consumidores.

O restabelecimento da potência depois de uma indisponibilização não é uma tarefa fácil. Ocorrem constantemente pequenos problemas, enquanto o sistema está fraco e frágil, durante o processo de restituição e a grelha experiencia condições diferentes, desde rede morta a uma variedade de redes frágeis para uma rede AC forte. Para manter a estabilidade da frequência e da tensão durante o processo de restituição, é necessário um plano geral coordenado de restituição.

O documento "Einfluss der Liberalisierung auf die Versorgungssicherheit in den Stromnetzen bzw. Regelungserfordernisse durch die Behörden", publicado como Gutachten_Glavitsch.pdf no site <http://www.versorgungssicherheit.at/download>, é, por exemplo, divulgado que a restituição de potência numa rede AC inactiva deve ser executada através da identificação de áreas autónomas na rede, as quais possam fornecer energia a uma rede local e posteriormente ligar de modo gradual outras áreas de rede.

Quando um conversor está ligado a uma rede em ilha apenas por geração, por exemplo, uma quinta eólica, ou apenas consumo, ou a mistura de ambos, será muito difícil prever a potência activa e reactiva. Será, portanto, difícil

determinar uma potência activa desejada P_{ref} e uma potência reactiva desejada Q_{ref} e será impraticável controlá-las.

Quando um conversor de encontra ligado a uma rede AC electricamente inactiva, isto é, sem qualquer alimentação de energia, o sistema de controlo descrito em cima não irá funcionar porque não existe qualquer tensão AC para sincronizar o PLL, e o controlo de corrente não irá funcionar visto a corrente ser determinadas naturalmente pela carga ligada.

Quando um conversor está conectado a uma rede AC electricamente muito fraca, i.e., a potência de curto-circuito existente na rede é aproximadamente igual a ou inferior à avaliação do conversor, torna-se muito difícil para o sistema de controlo mencionado em cima manter a estabilidade, uma vez que a fraca rede AC fornece uma tensão AC de barramento mais oscilante, o que leva à oscilação do PLL e controlo de corrente, visto que ambos os sistemas utilizam a tensão de barramento AC como corrente de entrada.

O documento WO 03/026118 A1, divulga o facto de um conversor de fonte de tensão poder ser usado para alimentar uma rede de tensão fraca ou inactiva. O modo em como isso é feito, não é divulgado.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um primeiro objectivo da presente invenção assenta em fornecer um método a sistema para controlar um conversor de fonte de tensão numa ligação HVDC que permite uma energização mais estável de uma rede inactiva AC. Um

segundo objectivo assenta em encontrar um método para arranque sem alimentação eléctrica de uma rede AC, em que o método se baseia no método de controlo do conversor de fonte de tensão.

O primeiro objecto é atingido por um método de acordo com a reivindicação 1 e um sistema de acordo com a reivindicação 11. O segundo objectivo é atingido por um método de acordo com a reivindicação 9. Formas de realização preferidas são descritas nas reivindicações dependentes.

De acordo com a invenção, a energização de uma rede AC inactiva, é atingida através do controlo da frequência e amplitude da tensão da tensão AC gerada de um conversor de fonte de tensão, de modo a comandar o conversor de fonte de tensão como gerador de fonte de tensão, de modo independente das condições, numa rede AC ligada. Em oposição a isso, o sistema de controlo do conversor conhecido controla a corrente do conversor da fonte de tensão e reage em estado de funcionamento da rede AC, tal como descrito em cima. O controlo da frequência e tensão permite estabilizar a tensão e voltagem da tensão AC gerada, ou seja, aumentar a solidez de uma rede AC fraca.

Um sistema HVDC que se liga a redes AC e compreendendo dois conversores de fonte de tensão consegue, quando controlado de acordo com a invenção, fornecer um arranque sem alimentação eléctrica, quando qualquer uma das redes AC experiencia uma indisponibilização de potência.

Uma das duas estações de conversão, que está ligada a uma rede AC de alimentação eléctrica e em funcionamento, manterá a tensão DC do sistema HVDC em valor nominal. De

acordo com um segundo aspecto da invenção, a outra das estações de conversão, que se encontra ligada a uma rede AC sem alimentação eléctrica, cria uma tensão AC com uma frequência e amplitude predeterminadas. A tensão AC criada é então usada para energizar as linhas de transmissão da rede AC, em que a rede AC está conectada a outras estações de alimentação. Através de tal apoio de potência AC por parte da estação de conversão HVDC, as outras estações de alimentação podem ser activadas. A grelha é gradualmente restituída através do arranque de mais equipamentos de alimentação e da ligação de mais cargas.

Um sistema HVDC que contém conversores de fonte de tensão equipados com o controlo de acordo com a invenção, facilitará e atenuará o processo de restituição da potência. Ao contrário das unidades de geração que possuem inércia e exigem um controlo da potência mecânico, o VSC equipado com o controlo de acordo com a invenção, pode ser efectuado de modo bastante rápido, uma vez não existir inércia. Devido ao rápido controlo, o VSC funciona como folga de potência, a qual mantém o equilíbrio da potência entre a geração e o consumo, ou seja, o conversor funciona como rectificador, que distribui potência da rede AC para o lado DC, quando a geração de potência é superior ao consumo de potência e o conversor funciona como um inversor que distribui potência do lado DC para a rede AC, quando a geração de potência é inferior ao consumo de potência. Desta forma, as situações críticas que têm de ser normalmente consideradas no processo de arranque sem alimentação eléctrica e restituição de uma grelha, tornam-se menos importantes, o que facilita a restituição de uma grelha.

Numa forma de realização da invenção, um controlo de retorno da tensão é fornecido com uma função de queda de tensão adaptativa, que fornece o controlo da rede AC gerada pelo conversor de fonte de tensão e ao mesmo tempo fornece uma potência reactiva apropriada partilhada por todas as fontes de potências reactivas na rede AC ligada, tal como dispositivos de regulação da tensão. Como resultado disso, a função de queda da tensão adaptativa mantém a amplitude da tensão AC muito estável num ponto de ligação comum entre o conversor de fonte de tensão e a rede AC, sob diferentes condições de funcionamento, desde uma carga passiva ao longo de um sistema fraco AC, com pouca geração, para um sistema forte AC com todas as gerações restituídas.

Numa outra forma de realização da invenção, um meio de circuito laço de bloqueio de fase (PLL) compreende meios de geração de sinal para gerar um sinal que representa a frequência desejada e ângulo de fase da tensão AC a ser gerada pelo conversor de fonte de tensão, em função da ordem de frequência e potência activa desejada, de tal modo que a frequência da rede AC ligada é mantida quase constante. O meio gerador de sinal funciona como função de queda de frequência adaptativa. Uma pequena variação da frequência é necessária para atingir uma boa partilha de cargas entre as outras unidades de geração, na rede AC ligada. A função de queda de frequência adaptativa possibilita o controlo de frequência de modo quase constante, excepto para a pequena variação necessária para atingir uma boa partilha de cargas entre as outras unidades de geração.

Outras formas de realização vantajosas da presente invenção tornar-se-ão claras a partir da descrição de formas de realização preferidas da invenção e reivindicações em anexo.

A simulação de uma restituição de uma grelha tem demonstrado que, com equipamento de controlo de acordo com a invenção, uma tensão AC e frequência estável e são obtidas sob diferentes condições da rede AC, desde uma carga passiva ao longo de um sistema AC fraco, com pouca geração, até um sistema AC forte com toda a geração de potência restituída.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A presente invenção será explicada com mais detalhe pela descrição de formas de realização com referência aos desenhos em anexo, os quais são todos vistas esquemáticas e na forma de diagramas de linhas e diagramas de blocos respectivamente, e em que

FIG. 1 é um diagrama de blocos esquemático simples de um sistema de transmissão de corrente directa de alta tensão tal como conhecido do estado da técnica,

FIG. 2 é uma forma de realização do equipamento de controlo para um conversor de fonte de tensão do sistema de transmissão do estado da técnica, de acordo com a FIG. 1,

FIG. 3 é um detalhe do equipamento de controlo do estado da técnica de acordo com a FIG. 2,

FIG. 4 é uma forma de realização do equipamento de controlo de acordo com a invenção,

FIG. 5 é uma forma de realização de meios de tensão AC de um do equipamento de controlo de conversão de acordo com a invenção,

FIG. 6A é uma forma de realização de um meio de circuito laço de bloqueio de fase do equipamento de controlo do conversor de acordo com uma forma de realização da invenção e

FIG. 6B ilustra a forma de onda de um sinal de saída do meio de circuito laço de bloqueio de fase que representa tanto a frequência desejada e ângulo de fase de tensão num ponto de ligação.

DESCRIÇÃO DE FORMAS DE REALIZAÇÃO

Os diagramas de blocos a ser descritos seguidamente podem ser vistos como diagramas de fluxo e diagramas de blocos do equipamento de controlo. As funções a serem executadas pelos blocos mostrados nos diagramas podem ser, em partes aplicáveis, implementados por meio de técnicas analógicas e/ou digitais em circuitos com cablagem, mas de preferência, como programas em microprocessadores. Deverá entender-se que, apesar de os blocos mostrados serem mencionados como membros, filtros, etc., eles devem, particularmente onde as suas funções são implementadas, como software para microprocessadores, ser interpretados como meios para atingir a função desejada. Deste modo, conforme seja o caso, a expressão "sinal" também pode ser interpretada como valor gerado por um programa de computador e aparecer apenas como tal. Apenas descrições funcionais dos blocos são fornecidas em baixo, uma vez que estas funções podem ser implementadas de modos conhecidos por si mesmos, pelos peritos na técnica.

As variáveis que aparecem no equipamento de controlo mostrado nas figuras, em particular representativas de tensões e correntes, são mostradas em forma de vectores

para ilustrar o seu carácter multifásico. As unidades de vectores são concebidas com um traço em cima .

As partes semelhantes entre si e que aparecem em mais do que uma figura, são fornecidas com os mesmos números de referência nas várias figuras.

As linhas de ligação entre valores medidos e blocos, bem como entre blocos, foram ocasionalmente omitidas para não pesar nas figuras. No entanto, deve entender-se que as respectivas variáveis que aparecem nas entradas de alguns blocos, são fornecidas a partir dos blocos ou unidades de medição onde são geradas.

A FIG. 1 mostra, na forma de diagrama de blocos esquemático simples, um sistema de corrente directa de alta tensão, tal como conhecido do estado da técnica. Uma primeira estação de conversão STN1 e uma segunda estação de conversão STN2 estão conectadas entre si através de uma ligação de corrente directa tendo dois pólos condutores W1 e W2, respectivamente. Tipicamente, os pólos condutores são cabos mas também podem, pelo menos em parte, compreender linhas superiores. Cada estação de conversão STN1 e STN2 tem equipamento de capacitância, C1 e C2, respectivamente, conectada entre os pólos condutores W1 e W2, e cada estação de conversão STN1 e STN2 compreende um conversor de fonte de tensão CON1 e CON2, respectivamente. Cada conversor CON1 e CON2 compreende válvulas semicondutoras compreendendo uma ponte conversora de nível 2 ou 3. As válvulas semicondutoras compreendem ramificações de elementos semicondutores de portal activar/desactivar, por exemplo,

transístores de potência do tipo conhecido IGBT, e díodos em ligação antiparalela com aqueles elementos.

Cada conversor está, através de um indutor de fase PI1 e PI2, respectivamente, ligado a uma rede de potência eléctrica de corrente alternativa trifásica N1 e N2. Apesar de não ilustrado na figura, é bem conhecido na técnica que os conversores podem estar ligados à rede trifásica N1 ou N2 através de transformadores, em cujo caso os indutores PI1 ou PI2 podem ser omitidos em algumas situações. Equipamentos de filtragem F1 e F2, respectivamente, estão ligados em ligação em paralelo a pontos de conexão entre o respectivo indutor de fase PI1 ou PI2 e a respectiva rede trifásica N1 ou N2.

A tensão AC da rede de corrente alternativa N1 e o ponto de ligação do filtro F1 é designada de UL1 e é medida com um dispositivo de medição M1. Esta tensão UL1 é seguidamente designada de tensão de barramento da rede de corrente alternativa N1. A tensão AC definida pelo conversor CON1 é designada de UV1 e é seguidamente designada de tensão de ponte do conversor CON1. A corrente alternativa no conversor CON1 é designada I1 e é medida com um dispositivo de medição M3. De modo semelhante, a tensão AC no ponto de ligação do filtro F2 é designada de UL2 e é medida com um dispositivo de medição M4, e a corrente alternativa no conversor CON2 é designada I2 e é medida com um dispositivo de medição M6. A tensão AC no ponto de conexão do filtro F2 é a seguir designada de tensão de barramento da rede de corrente alternativa N2. A tensão AC definida pelo conversor CON2 é designada de UV2 e é seguidamente designada de tensão de ponte do conversor CON2.

A tensão DC ao longo do equipamento de condensador C1 é designada de U_{d1} e a tensão DC ao longo do equipamento de condensador C2 é designada de U_{d2} . Estas tensões são medidas com dispositivos de medição mostrados apenas a título simbólico M7 e M8, respectivamente.

A primeira estação de conversão STN1 compreende equipamento de controlo CTRL1 e a segunda estação de conversão STN2 compreende equipamento de controlo CTRL2, normalmente do mesmo tipo que o equipamento de controlo CTRL1, para gerar séries de ordens activar/desactivar, FP1 e FP2 respectivamente, para as válvulas semicondutoras do respectivo conversor de fonte de tensão CON1 ou CON2, de acordo com um padrão predeterminado de modelação por duração de impulso (PWM).

As estações de conversão STN1 e STN2 podem funcionar em quatro modos diferentes, controlo de tensão DC, controlo de potência activa, controlo de tensão AC ou controlo de potência reactiva. Normalmente, uma das estações de conversão, por exemplo a primeira STN1, funciona sob controlo de tensão DC para um controlo de tensão da ligação de corrente directa, em quanto que a segunda estação de conversão STN2 funciona sob controlo de potência activa ou controlo de tensão AC ou controlo de potência reactiva. Os modos de funcionamento são definidos manualmente por um técnico ou, em certas circunstâncias, automaticamente por um sistema de controlo sequencial não ilustrado.

A FIG. 2 mostra uma forma de realização de um equipamento de controlo do estado da técnica, representativo do equipamento de controlo CTRL1 e equipamento de controlo

CTRL2, em que os índices 1 e 2 estão omissos para efeitos de simplicidade.

O equipamento de controlo CTRL compreende um controlador da tensão DC 21, um controlador da tensão AC 22, meios selectores SW1 e SW2, um sistema de controlo de corrente do conversor IREG, uma unidade de modulação por duração de impulso 23, e uma unidade lógica de comutação 24.

Um valor actual da tensão DC medida U_d ao longo do respectivo equipamento do condensador (C1 ou C2) e um valor de referência da tensão U_{dR} daquele, são fornecidos a um membro de formação diferencial 25, a saída do qual é fornecida ao controlador da tensão DC 21.

Um valor actual da respectiva medição da tensão de barramento UL e um valor de referência da tensão U_{LR} daquele, são fornecidos a um membro de formação diferencial 26, a saída do qual é fornecida ao controlador da tensão AC 22.

Um primeiro meio selector SW1 é fornecido com o sinal de saída do controlador de tensão DC 21 e um valor de referência P_{ref} para o fluxo de potência activa ao longo do conversor. O primeiro meio selector SW1 tem saída dependente de um sinal de modo MD1, um sinal pR sendo ou o sinal de saída do controlador de tensão DC 21 ou o valor de referência P_{ref} .

Um segundo meio selector SW2 é fornecido com o sinal de saída do controlador de tensão AC 22 e um valor de referência Q_{ref} para o fluxo de potência reactiva ao longo do conversor. O segundo meio selector SW2 tem saída

dependente de um sinal de modo MD2, um sinal qR sendo ou o sinal de saída do controlador de tensão AC 22 ou o valor de referência Qref.

Os controladores da tensão AC e DC 21 e 22 têm, por exemplo, uma característica integrante proporcional. Os valores de referência Pref e Qref podem ser formados convencionalmente como saídas dos controladores (não ilustrado) para fluxo de potência activa e reactiva, respectivamente.

Os sinais de saída pR e qR dos primeiros e segundos meios selectores SW1 e SW2 são fornecidos ao sistema de controlo da corrente do conversor IREG. O sistema de controlo da corrente IREG fornece um circuito laço interno de retorno de controlo da corrente AC, o qual, dependendo de um vector de referência fornecido, formado em dependência de sinais de saída pR e qR dos meios de comutação SW1 e SW2 e num sinal de sincronização de referência de fase, gera um modelo de referência de tensão na forma de um vector de referência de tensão $\overline{UV_R^{abc}}$. Este vector de referência de tensão $\overline{UV_R^{abc}}$ representa a referência de tensão para a tensão de ponte UV1 ou UV2 do respectivo conversor CON1 ou CON2. Com as fases da rede de corrente alternativa, designadas como a, b, e c, o índice superior abc do vector refere-se às tensões trifásicas do conversor, e o vector tem assim os componentes UV_R^a, UV_R^b e UV_R^c .

O sistema de controlo da corrente do conversor IREG também é fornecido com o valor actual I da corrente alternativa no conversor e com o valor nominal f0 da frequência da rede AC N1 ou N2, que é normalmente de 50 ou 60 Hz.

O vector de referência de tensão $\overline{UV_R^{abc}}$ é fornecido à unidade de modulação de duração de impulso 23 que determina os instantes t_a , t_b e t_c para a comutação das válvulas na respectiva fase a, b e c do conversor CON1 ou CON2, e a unidade lógica de comutação 24 gera em consequência disso, uma série de ordens activar/desactivar, F_{Pa} , F_{Pb} e F_{Pc} , fornecidas às válvulas semicondutoras.

De preferência, o sistema de controlo da corrente do conversor IREG é implementado como software executado num microprocessador e executado como sistema de controlo de amostragem.

Por razões práticas, ou seja, para efeitos de simplificação dos cálculos, o sistema de controlo da corrente do conversor IREG funciona de modo convencional, em que as unidades de três fases, i.e., tensões e correntes da rede de correntes alternativas, são transformadas e expressas num plano de referência dq bifásico rotativo conseguida através de transformação para um plano de referência $\alpha\beta$ bifásico estacionário. As unidades de três fases da rede de corrente alternativa irão desse modo ser transformadas para quantidades de corrente directa que podem ser processadas com técnicas de sistema de controlo per se conhecidas.

Com as fases da rede de corrente alternativa trifásica, designadas como a, b, e c, o sistema trifásico é referido como sistema abc. O texto que se segue e nas figuras, o plano de referência é, onde apropriado, indicado como índice superior (por exemplo $\overline{x_{dq}}$).

A FIG. 3 ilustra uma estrutura básica de um sistema de controlo da corrente do conversor IREG de acordo com o estado da técnica. O sistema de controlo da corrente é implementado como sistema de controlo de amostragem com um tempo de amostragem T_s .

Para efeitos de simplicidade, todas as variáveis são mostradas na forma de vectores, mas compreende-se que o processamento de sinal dos mesmos é executado nos componentes do respectivo vector, de modo per se conhecido. Como os sistemas de controlo da corrente são semelhantes para ambas as peças do equipamento de controlo CTRL1 e CTRL2, os índices 1 e 2 are, para efeitos de simplicidade, são omissos como índices nas respectivas variáveis a ser descritas em baixo.

O sistema de controlo da corrente do conversor IREG, de acordo com a Fig 3, compreende uma unidade de cálculo da ordem de corrente 41, um controlador da corrente 42, um primeiro membro de transformação 43, um segundo membro de transformação 44, um primeiro membro 46 de circuito laço de bloqueio de fase (PLL), e uma primeira unidade de cálculo 48.

O sistema de controlo da corrente do conversor IREG recebe sinais p_R e q_R , gerados conforme explicado em cima, com referência à figura 2. Os sinais p_R e q_R são fornecidos à unidade de cálculo de ordem de corrente 41, a qual, em dependência daqueles, calcula e envia valores de referência para a corrente alternativa no conversor. Os valores de referência são expressos no plano de referência dq como I_R^d e I_R^q , respectivamente, os quais são mostrados na figura

como vector de referência de corrente $\bar{I}_R^{dq} = I_R^d + j I_R^q$. O cálculo é executado de acordo com as relações per se conhecidas,

$$p_R = UL^d I_R^d + UL^q I_R^q \quad (1a)$$

$$q_R = -(UL^d I_R^q - UL^q I_R^d) \quad (1b)$$

em que as tensões UL^d e UL^q representam os componentes d e q respectivamente da tensão de barramento UL, medida na rede AC e transformada para o plano de referência dq.

Os valores de referência de corrente I_R^d e I_R^q podem ser limitados de acordo com condições de funcionamento especificadas para o sistema de transmissão antes de qualquer processamento adicional.

Nota-se que num plano de referência dq que está em rotação sincronizada com a tensão de barramento UL, tal como descrito em cima em relação ao PLL, o componente q UL^q da tensão de barramento UL transforma-se em zero. Seguidamente, das expressões (1a) e (1b) o componente d I_R^d do valor de referência de corrente $\bar{I}_R^{dq}$ transforma-se num valor de referência para potência activa e o componente q I_R^q torna-se num valor de referência para potência reactiva.

O valor actual I da corrente alternativa é medido na rede AC no conversor e é transformado para o plano de referência dq como vector de corrente actual $\bar{I}^{dq}$.

O controlador da corrente 42 é fornecido com o vector de referência de corrente $\bar{I}_R^{dq}$, o vector de corrente actual $\bar{i}_{dq}$, e com um valor médio $\overline{U L_m^{dq}}$ da tensão de barramento UL transformado para o plano de referência dq. O controlador da corrente 42 envia, na sequência disso, um sinal de saída designado $\overline{UV}_R^{dq}$ o qual é o vector de referência de tensão para a tensão de ponte do conversor no plano de referência dq.

O vector de referência de tensão $\overline{UV}_R^{dq}$ alternativa é fornecido ao primeiro membro de transformação 43, que transforma o vector para o plano de referência $\alpha\beta$. A saída do primeiro membro de transformação 43 é fornecida pelo segundo membro de transformação 44, o qual transforma o vector fornecido para o plano de referência abc como um vector $\overline{UV}_R^{abc}$. Este vector é o vector de referência da tensão de ponte para o conversor, tendo como componentes valores de referência de tensões para as respectivas três fases do sistema de corrente alternativa.

O vector de referência da tensão de ponte $\overline{UV}_R^{abc}$ é fornecido à unidade de modulação de duração de impulso 23, tal como descrito em cima com referência à figura 2.

O primeiro membro de transformação 43 executa de modo per se conhecido a transformação $\overline{UV}_R^{\alpha\beta} = \overline{UV}_R^{dq} * e^{j\xi}$ com o ângulo de transformação $\xi = \omega t$, a frequência rotacional ω da rede AC e o tempo t .

Um sinal de ângulo de transformação, designado na figura por ξ , é de modo convencional gerado pelo membro de circuito laço de bloqueio de fase (PLL) 46, dependendo do valor nominal f_0 da frequência da rede AC, e da posição de fase da tensão de barramento UL, transformada para o plano de referência $\alpha\beta$, e então fornecida ao primeiro membro de transformação 43.

O sinal ξ pode ser concebido como sinal de sincronização de referência de fase, seguidamente designado abreviadamente como sinal de sincronização ou de ângulo de fase. Este tem o objectivo de sincronizar o plano de referência dq rotativo com o sistema abc da tensão de barramento e representa um ângulo eléctrico de aumento linear com o tempo, com um tempo de acção por derivação proporcional à frequência actual da rede AC. Pelo menos em condições de estado de repouso, o sinal de sincronização ξ está bloqueado e em fase com a posição de fase da tensão de barramento UL da rede AC. Então, o plano de referência dq rotativo, também está bloqueado e mantido em sincronia com o sistema abc trifásico e em particular com a tensão de barramento UL. Nestas condições, também o componente q UL^q da tensão de barramento UL fica a zeros.

Uma forma de realização do equipamento de controlo do conversor de acordo com a invenção é mostrada na FIG. 4. Comparada com a forma de realização conhecida de tal equipamento, conforme descrita com referência à FIG. 2 e FIG. 3, a potência activa de controlo, a tensão DC, potência reactiva e tensão AC através da corrente AC, há uma substituição pelo controlo de tensão AC e um novo meio de circuito laço de bloqueio de fase. O membro de geração

de tensão 51 gera a tensão de referência do conversor $\overline{UV}_{ord}^{dq}$, i.e., o valor de referência para a tensão de ponte do conversor no plano de referência dq, usando as saídas a partir de um meio de controlo de tensão AC UACREG e um meio de circuito laço de bloqueio de fase PLL_IN.

A tensão de referência do conversor gerada $\overline{UV}_{ord}^{dq}$, conjuntamente com as saídas do meio de circuito laço de bloqueio de fase PLL_IN, o qual inclui os sinais da frequência desejada f_{ord} e do ângulo de fase desejado ξ_{ord} da tensão de ponte UV, bem como o período de amostragem Ts_{ord} , são fornecidos a um membro PWM 52. Para peritos na técnica, é facilmente compreendido que o membro PWM 52 pode ser de um modo implementado, tal como ilustrado na FIG. 2 e FIG. 3, ou pode ser implementado de outro modo, dependendo do método seleccionado de modulação.

A FIG. 5 mostra uma forma de realização da unidade de controlo da tensão AC UACREG, mostrada na FIG. 4. A potência reactiva medida Q no barramento de ligação à rede AC, N1 ou N2 da FIG. 1, é fornecida ao membro selectivo 62 através da unidade de filtragem 61. O membro selectivo 62 selecciona, de acordo com o valor do sinal de entrada, uma constante predefinida, e gera um sinal ΔU_{ref} que é proporcional à constante seleccionada e sinal de entrada. As constantes predefinidas, conhecidas como declives, irão reforçar uma partilha de carga reactiva automática entre a estação de conversão e outros dispositivos de regulação de tensão. As constantes são tipicamente valores de 0,01 a 0,1. Um valor mais elevado é seleccionado se o sinal de entrada for elevado, de modo a evitar correntes de sobrecarga e obter um bom controlo de tensão AC. Um primeiro membro de

adição 63 é fornecido com a saída a partir do membro de selecção 62 e com a tensão de referência AC predefinida ULR. O primeiro membro de adição 63 envia a referência de tensão AC actual e fornece-a a um segundo membro de adição 64. Outro sinal de entrada para o segundo membro de adição 64 é a amplitude UL da tensão AC medida na ligação de barramento fornecida através de uma unidade de filtragem 57. A saída do segundo membro de adição 64 é fornecida a um regulador 65, o qual pode ser do tipo PI, i.e., incluindo uma parte proporcional e uma parte de integração. O regulador 65 produz uma parte de correcção de tensão. Esta parte de correcção é acrescentada da tensão ULR de referência AC predefinida de modo a formar uma ordem de amplitude de tensão UMR.

A FIG. 6A mostra uma forma de realização do membro de circuito laço de bloqueio de fase PLL_IN de acordo com a FIG. 4. Uma unidade geradora de ângulo de fase 71 gera, em função da frequência desejada f_{ord} da tensão de ponte UV e no período de amostragem Ts_{ord} um ângulo de fase desejado ξ_{ord} da tensão de ponte UV, a forma de onda da qual é ilustrada na FIG. 6B. A frequência desejada, que também é a frequência actual da rede AC ligada, é a soma da frequência de referência predefinida f_0 e uma parte de correcção de frequência, e resulta de um terceiro membro de adição 75. Um membro selector 77 selecciona, de acordo com o valor do sinal de entrada, uma constante predefinida, e gera um sinal que é proporcional à constante seleccionada e sinal de entrada. As constantes predefinidas, conhecidas como queda, reforçam uma partilha de carga activa automática entre a estação de conversão e outras unidades de geração de potência. As constantes predefinidas são tipicamente valores de 0,1 a 1,0. Um valor mais elevado é seleccionado

se o sinal de entrada for elevado, de modo a evitar uma corrente de sobrecarga e obter um bom controlo da frequência. O sinal de entrada do membro selector 77 é a potência activa medida P que é fornecida através de uma unidade de filtragem 72. O período de amostragem Ts_ord é determinado por

$$Ts_ord = (2 \cdot p \cdot f)^{-1}$$

onde p é um número pré-seleccionado que depende da frequência de comutação.

Tal como descrito em cima, no sistema de controlo conhecido, o sinal de saída ξ do PLL representa o sincronismo entre o PLL e a tensão de barramento medida UL. Por outras palavras, o sinal ξ representa o ângulo de fase, bem como a frequência da tensão da rede AC. Como resultado deste sincronismo, o plano de referência dq está também em rotação sincronizada com a tensão de barramento UL, o que resulta no facto de o componente q UL^q da tensão de barramento UL se transformar em zero e o componente d UL^d da tensão de barramento UL se tornar igual à amplitude da tensão de barramento. Deverá ser observado que este sincronismo é realizado por um controlo de retorno. Na invenção, em vez de se usar um controlo de retorno, um sincronismo de reforço entre o sinal ξ_ord do PLL_IN e tensão de barramento é realizado no membro de geração de tensão 51 (FIG. 4) através da definição do componente q UL^q da tensão de barramento para zero e do componente d UL^d da tensão de barramento para a ordem de amplitude de tensão UMR, ou seja,

$$\overline{UL}_{ord}^{dq} = UMR + j \cdot 0 \quad (2)$$

Para além disso, a tensão de referência do conversor no plano de referência dq é obtida como

$$\overline{UV}_{ord}^{dq} = \overline{UL}_{ord}^{dq} + \Delta \overline{U}^{dq} \quad (3)$$

em que $\Delta \overline{U}^{dq}$ é a queda de tensão prevista ao longo da indutância, e é obtida através do uso do componente dq da corrente medida $\overline{I}_{abc}$ incluindo um processo de filtragem.

A tensão de referência do conversor $\overline{UV}_{ord}^{dq}$ no método e sistema de controlo de acordo com a presente invenção, corresponde ao vector de referência de tensão $\overline{UV}_R^{dq}$ do estado da técnica, referido na FIG. 3. de modo semelhante, os sinais ξ_{ord} , f_{ord} e Ts_{ord} , de acordo com a invenção, correspondem aos sinais ξ , f e Ts do estado da técnica, respectivamente. Assim que esses sinais são produzidos, pode ser implementada a geração de ordem de comutação para as válvulas de controlo.

Numa forma de realização da invenção, o conversor de fonte de tensão pode ser equipado, tanto com o modo de controlo conhecido do estado da técnica, designado de primeiro modo de controlo, i.e., o controlo da potência activa/tensão DC e potência reactiva/tensão AC, através do controlo de corrente AC, e o modo de controlo de acordo com a invenção seria designado de segundo modo de controlo, i.e., controlo da tensão AC directa e da frequência. Um comutador de software ou hardware é adicionado para selecção do modo de controlo desejado.

Num sistema de transmissão ou de arranque sem alimentação eléctrica HVDC, apenas um dos conversores de fonte de tensão poderá ser equipado com o controlo de acordo com a

invenção. Neste caso, o outro conversor utilizará o controlo conhecido do estado da técnica de modo a controlar a tensão DC do sistema HVDC.

Lisboa, 18 de Novembro de 2010

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar um sistema HVDC que conecta duas redes AC, em que o sistema HVDC compreende duas estações de conversão (STN1; STN2) tendo cada uma um conversor de fonte de corrente (CON1; CON2), **caracterizado por** uma das duas redes AC estar isenta de alimentação eléctrica e a outra das duas redes AC estar em funcionamento, o método compreendendo:
 - o funcionamento do conversor da fonte de corrente de uma das duas estações de conversão, a qual está conectada à rede AC isenta de alimentação eléctrica como gerador de fonte de alimentação, de modo a gerar uma tensão AC denotada como tensão de ponte (UV_1 ; UV_2), com frequência desejada (f_{ord}) e amplitude de tensão desejada ($\overline{UV}_{ord}$) usando um controlo de tensão e frequência directo AC através do controlo da frequência e amplitude da tensão AC gerada,
 - o controlo da outra estação de conversão para funcionamento da rede AC para manter a tensão DC do sistema HVDC em valor nominal.
2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que na estação de conversão conectada à rede AC sem alimentação de corrente é realizado um sincronismo de reforço entre um ângulo de fase desejado (ξ_{ord}) da tensão de ponte e uma tensão AC da rede AC conectada, denotada como tensão de barramento (UL_1 , UL_2).
3. Método de acordo com a reivindicação 2, em que o sincronismo de reforço é realizado através da definição de um componente q da tensão de barramento

para zero e um componente d da tensão de barramento para uma ordem de amplitude de tensão (UMR), de modo a que o valor de referência da tensão de ponte num plano de referência dq se transforme:

$$\overline{UV}_{ord}^{dq} = UMR + j \cdot 0 + \overline{\Delta U}^{dq},$$

em que $\overline{UV}_{ord}^{dq}$ é o valor de referência para a tensão de ponte num plano de referência dq, UMR é a ordem de amplitude de tensão e $\overline{\Delta U}^{dq}$ é uma queda de tensão prevista.

4. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 3, em que a amplitude de tensão da tensão de ponte é controlada através de um controlo de retorno de tensão (UACREG) compreendendo uma função de queda de tensão adaptativa (62), a função de queda de tensão adaptativa reagindo numa potência reactiva (Q) medida num ponto de ligação à rede AC isenta de alimentação eléctrica (N1; N2).
5. Método de acordo com a reivindicação 4, em que a função de queda de tensão adaptativa (62) aumenta um sinal de referência de tensão AC (ULR) com potência reactiva crescente (Q).
6. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 5, em que a frequência é controlada através de um circuito laço de bloqueio de fase (PLL_IN), o circuito laço de bloqueio de fase (PLL_IN) compreendendo uma função de queda de frequência adaptativa (77), a função de queda de frequência adaptativa (77) reagindo numa

potência activa (P) medida num ponto de ligação à rede AC isenta de alimentação eléctrica (N1; N2).

7. Método de acordo com a reivindicação 6, em que a função de queda de tensão adaptativa (77) aumenta um sinal de referência de frequência (f_0) com potência activa crescente (P).
8. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 7, em que o método é apenas aplicado depois de ser detectado que a rede ligada AC (N1; N2) se encontra sem alimentação de corrente.
9. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 8, em que o método é aplicado para o arranque da rede AC sem alimentação eléctrica, em que a rede AC isenta de alimentação eléctrica, é conectada através do sistema HVDC a pelo menos uma das estações de alimentação AC e em que a rede AC, isenta de alimentação eléctrica, está ligada através de linhas de transmissão à outra estação de alimentação AC, o método compreendendo:
 - a utilização da tensão de ponte criada (UV1, UV2) para fornecer energia às linhas de transmissão ligadas à outra das pelo menos duas estações de alimentação AC;
 - a activação da outra das pelo menos duas estações de alimentação AC.
10. Método de acordo com a reivindicação 9, em que a rede AC isenta de alimentação eléctrica está ligada a mais do que duas estações de alimentação AC e a pelo menos uma carga e em que esta rede AC é recuperada através da activação gradual das restantes estações de

alimentação AC, depois de a outra das pelo menos duas estações de alimentação AC ter sido activada e subsequentemente ligar a pelo menos uma carga.

11. Sistema HVDC que liga duas redes AC, em que o sistema HVDC compreende duas estações de conversão (STN1; STN2) tendo cada uma um conversor de fonte de tensão (CON1; CON2) e uma unidade de controlo (CTRL1; CTRL2), **caracterizado por** uma das redes AC estar isenta de alimentação eléctrica e a outra das duas redes AC estar em funcionamento,

- em que a unidade de controlo da estação das duas estações de conversão, que está ligada à rede AC sem alimentação eléctrica controlar o conversor correspondente de fonte de tensão como gerador de fonte de tensão, de modo a gerar uma tensão AC, denotada como tensão de ponte (UV_1 ; UV_2), com frequência desejada (f_{ord}) e amplitude de tensão desejada ($\overline{UV}_{ord}$) usando uma tensão directa AC e controlo de frequência através do controlo da frequência e amplitude da tensão AC gerada,
- em que a unidade de controlo da outra estação das duas estações de conversão, ligada à rede AC em funcionamento, controla a fonte de tensão correspondente para manter a tensão DC do sistema HVDC em valor nominal.

Lisboa, 18 de Novembro de 2010

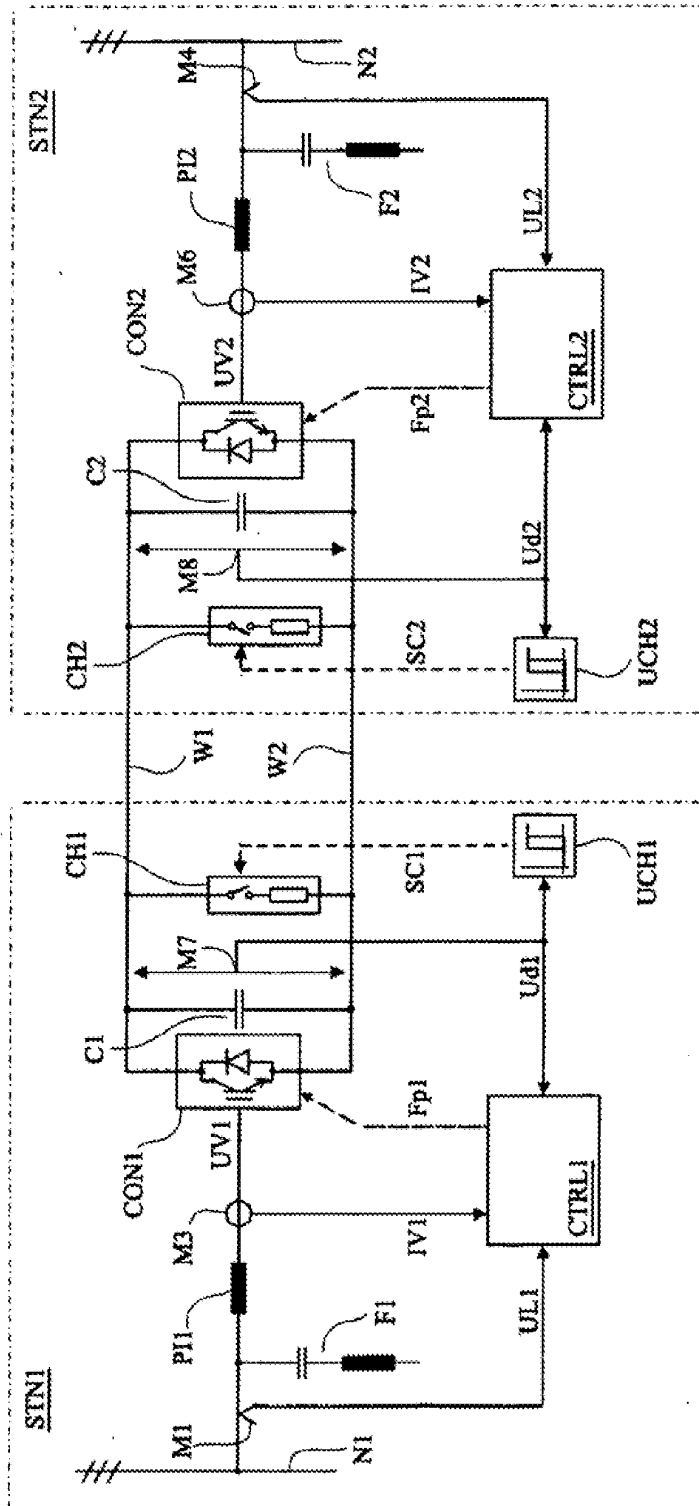


FIG. 1

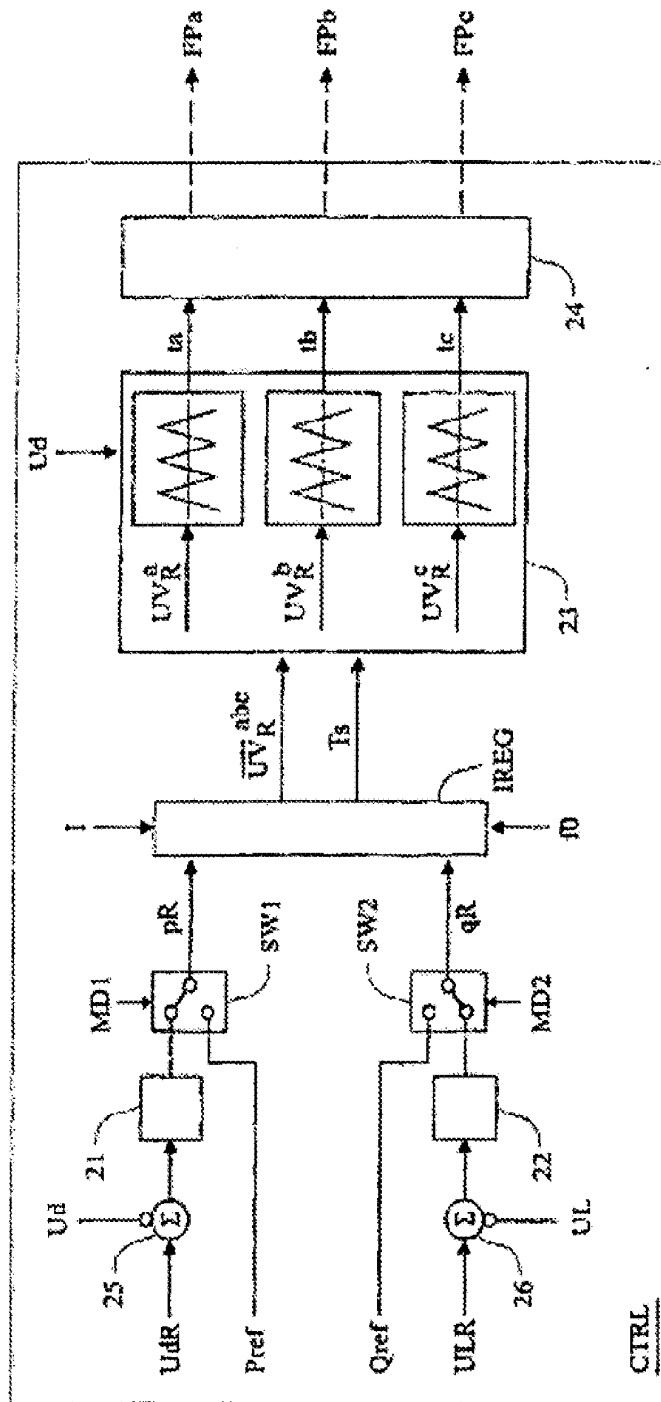
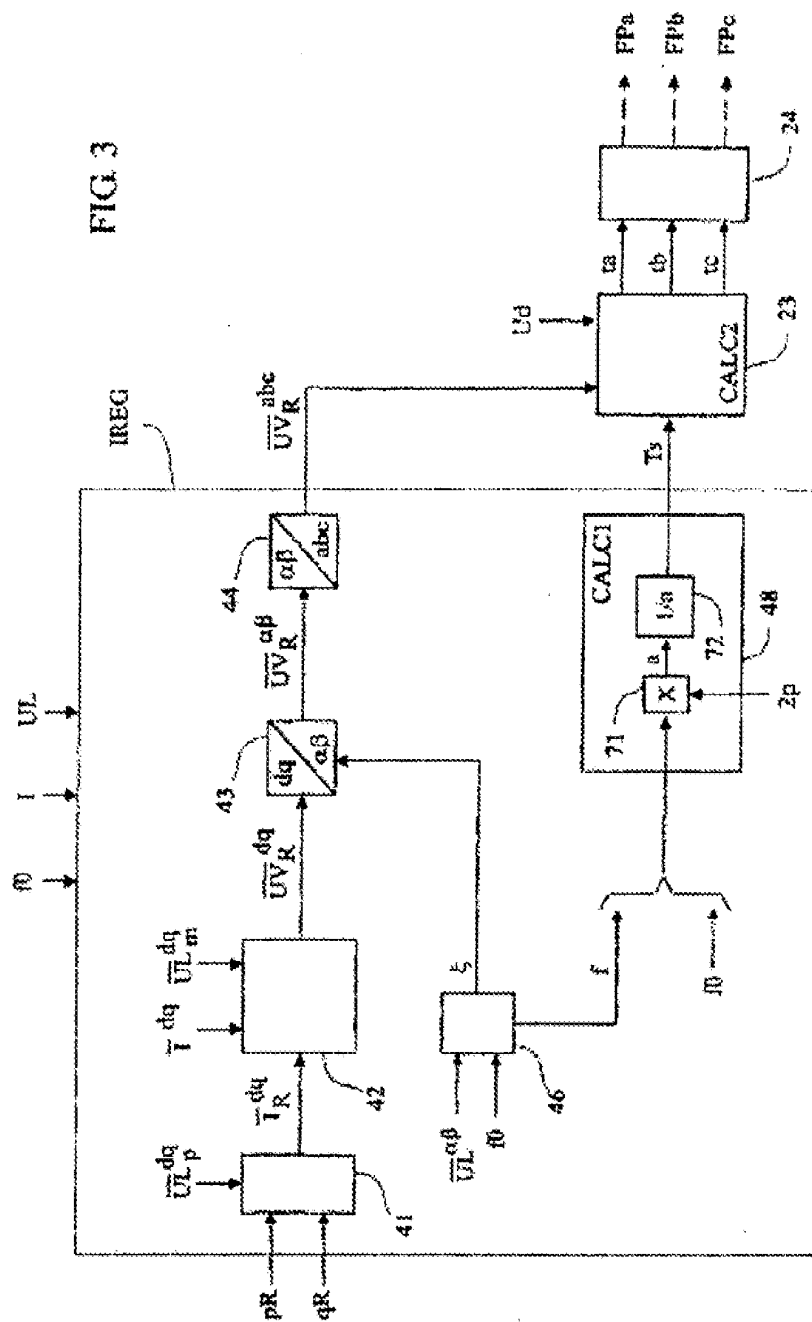


FIG. 2

361



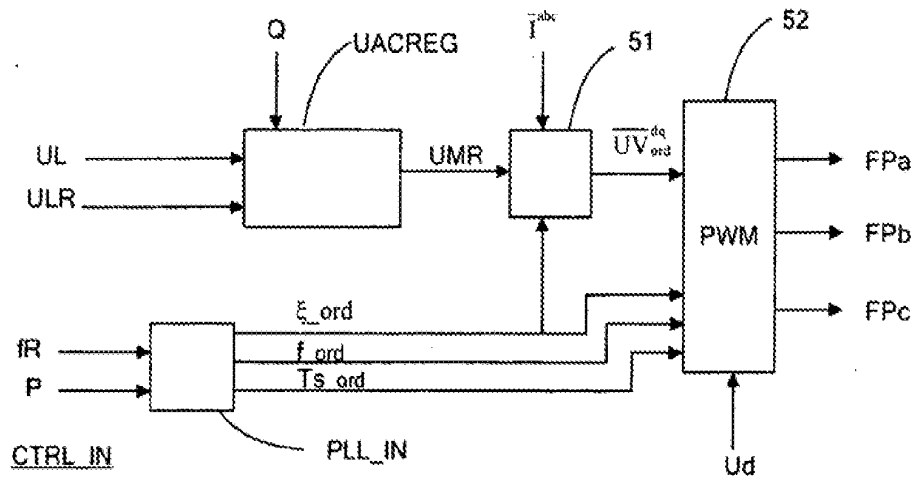


FIG. 4

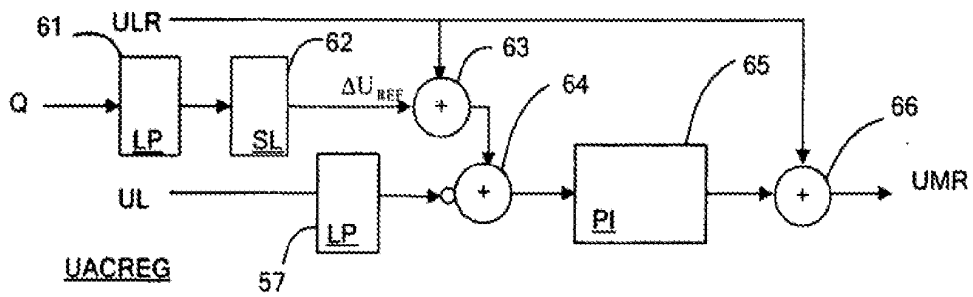


FIG. 5

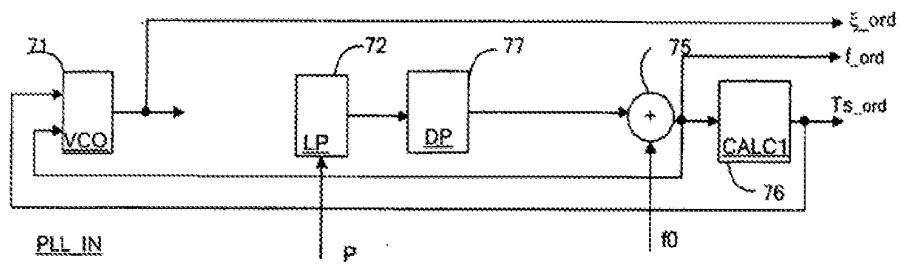


FIG. 6A

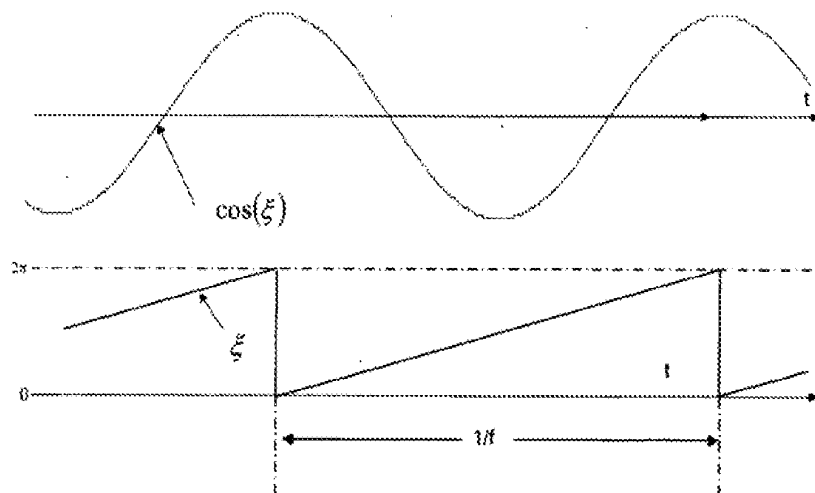


FIG. 6B