



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 112020019176-0 A2



(22) Data do Depósito: 22/03/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 05/01/2021

(54) Título: SISTEMAS E MÉTODOS PARA GERENCIAMENTO E CONTROLE DE POTÊNCIA

(51) Int. Cl.: B60K 17/34; B60K 17/356; B60L 58/10; B60L 58/18.

(30) Prioridade Unionista: 22/03/2018 US 62/646,861.

(71) Depositante(es): TAE TECHNOLOGIES, INC..

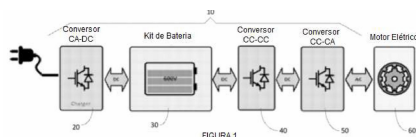
(72) Inventor(es): MIKHAIL SLEPCHENKOV; ROOZBEH NADERI.

(86) Pedido PCT: PCT US2019023695 de 22/03/2019

(87) Publicação PCT: WO 2019/183553 de 26/09/2019

(85) Data da Fase Nacional: 23/09/2020

(57) Resumo: Sistemas e métodos direcionados para melhorar o gerenciamento de bateria, controle de motor, armazenamento de energia e carregamento de bateria. Os sistemas e métodos permitem a eletrificação do veículo e fornecem uma plataforma de mudança de paradigma que permite a integração de gerenciamento de bateria, carregamento e controles do motor com meios para gerenciar frenagem regenerativa, tração e manuseio. Em modalidades, sistemas e métodos são direcionados a um sistema de kit de bateria modular unificado com uma arquitetura em cascata que compreende uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor embutido ou outro elemento de armazenamento de energia secundário, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais como o bloco de construção fundamental.



“SISTEMAS E MÉTODOS PARA GERENCIAMENTO E CONTROLE DE POTÊNCIA”

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

[001] O pedido em questão é uma continuação do Pedido de Patente PCT No. PCT/US19/23695, depositado em 22 de março de 2019, que reivindica prioridade ao Pedido de Patente Provisório PCT No. 62/646.861, depositado em 22 de março de 2018, ambos embutidos por referência aqui em sua totalidade para todos os fins.

CAMPO

[002] A presente divulgação se refere ao gerenciamento de potência elétrica e controle de sistemas de bateria e, mais particularmente, a sistemas e métodos que facilitam o gerenciamento de bateria melhorado, controle de motor, armazenamento de energia, e carregamento de bateria para veículos elétricos e outras aplicações estacionárias.

FUNDAMENTOS

[003] Tecnologia automotiva de hoje, conforme evoluiu ao longo do século passado, é caracterizada, entre muitas coisas, por uma interação de motores, elementos mecânicos e eletrônicos. Esses são os principais componentes que afetam o desempenho do veículo e a experiência do motorista. Os motores são de combustão ou elétricos e geralmente encontra-se um motor por carro, exceto carros com propulsão híbrida, apresentando uma combinação de um mecanismo de combustão com um ou dois motores elétricos, ou veículos elétricos orientados para o desempenho que são equipados com dois motores. Em quase todos os casos, a energia rotacional do (s) motor (s) é entregue através de um conjunto de elementos mecânicos altamente sofisticados, como embreagens, transmissões, diferenciais, eixos acionadores, tubos de torque, acopladores, etc. Essas partes controlam um grande grau de conversão de torque e distribuição de potência para as rodas e são

elementos chaves para definir o desempenho do carro. Eles também afetam o manuseio da estrada. Ao longo dos anos, os fabricantes de automóveis individuais otimizaram altamente essas partes mecânicas para fornecer melhor desempenho, maior eficiência de combustível e, em última análise, diferenciação no mercado. No lado do controle, além dos confortos do motorista, como entretenimento, navegação e elementos de interface homem-máquina, normalmente existem apenas alguns grupos de hardware eletrônico especializado e software integrado que controlam/otimizam motores, operação de embreagem/transmissão e manutenção/manuseio em estrada.

[004] Os automóveis ou veículos elétricos (EVs) de hoje adotaram amplamente a maioria do paradigma de projeto centenário de um veículo de combustão, com as substituições óbvias de baterias, sistemas de carregamento e motores elétricos para o tanque de gasolina usual, bombas/injetores de combustível e mecanismo de combustão. Embora os eletrônicos de controle sejam adaptados à diferença nos componentes, é importante perceber que a maioria das partes do sistema de propulsão mecânico descrita acima ainda está lá (vide, por exemplo, as Figuras 1 e 2). Isso quer dizer que a filosofia geral de projeto dos EVs atuais pouco foi além do paradigma convencional. Como tal, o verdadeiro potencial de eletrificação não está sendo realizado.

[005] Um EV compreende vários sistemas elétricos relacionados ao sistema de propulsão, incluindo, entre outros, a bateria, o carregador e o controle do motor. Um breve inventário das capacidades e deficiências atuais desses sistemas elétricos incluem:

Projeto de Bateria Convencional

[006] No momento, os kits de bateria de alta tensão são normalmente organizadas em uma cadeia serial de módulos de bateria de baixa tensão. Cada um desses módulos é ainda composto por um conjunto conectado em série de células

individuais e um sistema de gerenciamento de bateria embutido simples para regular as características básicas relacionadas da célula, como o estado de carga e tensão. Eletrônicos com recursos mais sofisticados ou alguma forma de interconexão inteligente estão ausentes. Como consequência, qualquer função de monitoramento ou controle é manipulada por um sistema separado, que, se estiver presente em outro lugar no carro, não teria a capacidade de monitorar a integridade da célula individual, estado de carga, temperatura e outras métricas de impacto de desempenho. Também não há capacidade de ajustar o consumo de potência por célula individual de qualquer forma. Algumas das principais consequências são: (1) a célula mais fraca restringe o desempenho geral de todo o kit de bateria, (2) a falha de qualquer célula ou módulo leva à necessidade de substituição de todo o kit, (3) confiabilidade e segurança da bateria são consideravelmente reduzidos, (4) vida da bateria é limitada, (5) gerenciamento térmico é difícil, (6) baterias sempre operam abaixo das capacidades máximas, (7) entrada repentina nos kits de bateria de potência elétrica derivada da frenagem regenerativa não pode ser facilmente armazenada nas baterias e exigirá dissipação através de um resistor de despejo.

Projeto de Carregador Atual

[007] Circuitos de carga são normalmente realizados em sistemas integrados separados. Eles testam a potência que vem de fora do EV na forma de um sinal CA ou CC, convertem-no em CC e alimentam o kit (s) de bateria. Os sistemas de carregamento monitoram a tensão e a corrente e normalmente fornecem uma alimentação constante e estável. Dado o projeto dos kits de bateria e circuitos de carregamento típicos, há pouca capacidade de personalizar fluxos de carregamento para módulos de bateria individuais com base na integridade da célula, características de desempenho, temperatura, etc. Os ciclos de carregamento também são tipicamente longos à medida que os sistemas de carregamento e os kits de bateria não possuem o conjunto de circuitos para permitir o carregamento

pulsado ou outras técnicas que otimizam a transferência de carga ou a carga total alcançável.

Projeto de Controle de Motor Atual

[008] Controles convencionais contêm estágios de conversão CC para CC para ajustar os níveis de tensão do kit de bateria para a tensão de barramento do sistema elétrico do EV. Os motores, por sua vez, são acionados por conversores multifásicos simples de dois níveis que fornecem o sinal (s) CA exigido para o motor elétrico. Cada motor é tradicionalmente controlado por um controlador separado, que aciona o motor em um projeto trifásico. EVs de motor duplo exigiriam dois controladores, enquanto EVs usando quatro motores nas rodas exigiriam 4 controladores individuais. O projeto de controlador convencional também não tem a capacidade de acionar motores de última geração, como motores de relutância de comutação (SRM), caracterizados por um número maior de peças polares. A adaptação exigiria projetos de fases mais elevadas, tornando os sistemas mais complexos e, em última análise, falhando em lidar com o ruído elétrico e o desempenho de direção, como ondulação de alto torque e ruído acústico.

[009] Em vista das limitações anteriores, os sistemas e métodos que facilitam o gerenciamento melhorado de bateria, controle do motor, armazenamento de potência e carregamento da bateria são desejáveis para abordar as deficiências mencionadas acima e fornecer uma plataforma de mudança de paradigma.

SUMÁRIO

[010] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a sistemas e métodos que facilitam o gerenciamento de bateria, controle de motor, armazenamento de energia e carregamento de bateria melhorados. Como tal, os sistemas e métodos fornecidos neste documento permitem a realização do verdadeiro potencial da eletrificação do veículo e fornecem uma plataforma de mudança de paradigma que integra de forma inteligente o gerenciamento da bateria,

o carregamento e os controles de motor com meios para gerenciar a frenagem regenerativa, a tração e o manuseio.

[011] Modalidades exemplares da presente divulgação são preferivelmente direcionadas a um sistema de kit de bateria modular unificado com uma arquitetura em cascata que compreende uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor embutido ou outro elemento de armazenamento de energia secundária, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado serialmente de células individuais como o bloco de construção fundamental. Um pacote interconectado de tais módulos de bateria inteligente torna-se efetivamente uma "rede neural" elétrica inteligente e a substituição de: (1) um sistema de carregamento, (2) módulos de gerenciamento de bateria, (3) conversor CC para CC e (4) controlador de motor (s).

[012] Este sistema modular de kit de bateria inteligente não é apenas combinável com motores EV convencionais e propulsores, mas também com novos motores EV em rodas que estão sendo desenvolvidos para uso em EVs futuros.

[013] Em modalidades exemplares fornecidas neste documento, os componentes eletrônicos de cada kit de bateria inteligente modular são baseados em um controlador multinível, que em certas modalidades exemplares é de preferência um controlador de histerese multinível bidirecional, combinado com sensores de temperatura e lógica de interface de rede. Este projeto oferece uma longa lista de vantagens: (1) Uso melhorado de bateria através da comutação individual de módulos com base em sua idade, condição térmica e características de desempenho; (2) perdas térmicas reduzidas nas células através do consumo de potência cuidadoso ou equilíbrio da geração de potência; (3) envelhecimento da célula retardado através de melhor gerenciamento térmico individual e filtragem de harmônicos de corrente de alta ordem; (4) capacidade de monitoramento granular da

integridade da bateria e aviso prévio da necessidade de manutenção; (5) projeto à prova de falhas e redundante capaz de manter a dirigibilidade, mesmo sob falha de módulo individual; (6) maior eficiência e melhor economia através do uso de novas tecnologias de semicondutores operando em tensões de componente mais baixas para reduzir perdas de potência e custos; (7) otimização baseada em software de topologias e métodos de controle para se adaptar às diferentes características do veículo; (8) quase recuperação total da energia da frenagem regenerativa e resposta rápida na aceleração em virtude dos ultracapacitores embutidos; (9) carregamento otimizado a bordo integrado devido ao equilíbrio e monitoramento de carga de célula individual, incluindo carregamento pulsado ultrarrápido acionado por conjunto de circuitos de controlador inteligente; (10) interferência do eletroímã reduzida e sensibilidade da topologia do circuito; (11) coordenação baseada em rede neural adaptativa entre módulos para melhorar o desempenho geral do sistema, tempo de resposta, gerenciamento térmico e eficiência coletiva do sistema; (12) eliminação dos componentes de propulsão mecânico e perdas associadas quando combinados com motores nas rodas; (13) redução das perdas elétricas e magnéticas gerais da propulsão; (14) densidade de potência aumentada quando usado com motores nas rodas; (15) redução da ondulação de torque e maior conforto do passageiro devido à redução do ruído elétrico e mecânico proveniente do controle refinado do motor e da filtragem elétrica; (16) capacidade de se adaptar e ser otimizado para todos os projetos de motores atuais e de próxima geração; (17) redução no espaço fornecendo mais lugar para passageiros/carga/baterias adicionais (maior alcance); (18) redução de peso fornecendo melhor desempenho, maior eficiência do veículo, maior alcance de condução; (19) manuseio superior e melhor tração quando combinados com motores nas rodas; (20) bloco de construção universal, adaptável para uso de pequenos carros de passageiros a grandes ônibus e caminhões comerciais; (21) diferenciação baseada em software das características do veículo,

em vez de via projetos de componentes mecânicos tradicionais.

[014] Outros sistemas, métodos, recursos e vantagens das modalidades exemplares serão ou se tornarão aparentes para um versado na técnica após o exame das seguintes figuras e descrição detalhada.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[015] Os detalhes das modalidades exemplares, incluindo estrutura e operação, podem ser recolhidos em parte pelo estudo das figuras anexas, nas quais números de referência semelhantes se referem a partes semelhantes. Os componentes nas figuras não estão necessariamente em escala, em vez disso, a ênfase é colocada na ilustração dos princípios da divulgação. Além disso, todas as ilustrações destinam-se a transmitir conceitos, onde tamanhos relativos, formas e outros atributos detalhados podem ser ilustrados esquematicamente em vez de literal ou precisamente.

[016] A Figura 1 ilustra um esquema simplificado do circuito eletrônico de potência e do motor elétrico de um veículo elétrico a bateria convencional

[017] A Figura 2 ilustra um esquema de um circuito eletrônico de potência e motor elétrico para um veículo elétrico de bateria de acordo com modalidades da presente divulgação tendo um sistema modular unificado com arquitetura em cascata incluindo um kit de bateria CA modular inteligente que compreende uma conexão em série de módulos de bateria de baixa tensão inteligentes.

[018] As Figuras 3A a 3I ilustram esquemas mostrando o circuito eletrônico de potência de acordo com modalidades da presente divulgação como uma representação modular inteligente do circuito eletrônico de potência de alta tensão convencional para um veículo elétrico de bateria mostrado na Figura 1; A Figura 3A mostra o kit de bateria de alta tensão compreendendo uma cadeia em série de módulos de bateria de baixa tensão; A Figura 3B mostra cada módulo de bateria compreendendo uma conexão em série de células de bateria de baixa tensão e um

gerenciamento de bateria integrado ou sistema de controle; A Figura 3C mostra o conversor CC/CA de alta tensão dividido em vários conversores CC/CA de baixa tensão em série; A Figura 3D mostra um conversor CC/CA de baixa tensão individual integrado em um módulo de bateria individual; A Figura 3E mostra um ultracapacitor ou supercapacitor integrado dentro de um módulo de bateria individual para armazenar intermitentemente a potência de frenagem; A Figura 3F mostra um kit de bateria CA modular inteligente de alta tensão compreendendo uma conexão em série de módulos de bateria inteligente de baixa tensão integrados com gerenciamento de bateria ou sistemas de controle, conversores de baixa tensão e ultracapacitores; As Figuras 3G e 3H mostram o conversor CC/CC removido do circuito eletrônico de potência; e a Figura 3I mostra o conversor/carregador CA/CC removido do circuito eletrônico de potência.

[019] A Figura 4 ilustra uma representação conceitual de vista em perspectiva de um módulo de bateria inteligente que compreende uma bateria integrada com um sistema de gerenciamento e controle de bateria, um conversor de baixa tensão e um ultracapacitor de acordo com modalidades da presente divulgação.

[020] A Figura 5 ilustra um diagrama esquemático de um módulo de bateria inteligente de acordo com modalidades da presente divulgação acoplado a um sistema de controle de módulo de bateria (ou unidade de controle eletrônico local (ECU)) e um sistema de controle mestre (ou ECU mestre).

[021] A Figura 6 ilustra um diagrama esquemático de vários kits de bateria CA modular inteligente de acordo com modalidades da presente divulgação acoplados a um motor trifásico e um acoplamento de carregamento para acoplamento a uma rede monofásica ou trifásica ou fonte de potência.

[022] As Figuras 7A e 7B ilustram gráficos de formas de onda típicas de tensões de saída para um (1) módulo de bateria inteligente (Figura 7A) e uma (1)

fase do kit de bateria CA modular inteligente com seis (6) módulos de bateria inteligente conectados em série em cada fase (Figura 7B).

[023] As Figuras 8A, 8B, 8C e 8D ilustram gráficos que mostram o princípio da técnica de portadora deslocada em fase.

[024] A Figura 9 ilustra um esquema de um diagrama funcional do seletor de nível de tensão de um controlador de histerese de quatro quadrantes de nove níveis.

[025] As Figuras 10A, 10B e 10C ilustram gráficos que mostram a operação de um controlador de histerese de quatro quadrantes de nove níveis; A Figura 10A ilustra o erro de controle de corrente I_{ERROR} , como uma diferença entre I_{REAL} e I_{REF} ; A Figura 10B ilustra a corrente de referência I_{REF} e a corrente real I_{REAL} na fase de motor; A Figura 10C ilustra a tensão de saída de conversor V_{OUT} .

[026] A Figura 11 ilustra um diagrama funcional de um controlador de corrente de histerese de 9 níveis e 4 quadrantes com equilíbrio de estado de carga (SOC) e rotação de estado zero.

[027] A Figura 12 ilustra um diagrama funcional de um controlador de rotação de módulo de bateria inteligente.

[028] A Figura 13 ilustra um diagrama funcional de um estimador di/dt .

[029] As Figuras 14A e 14B ilustram diagramas funcionais de blocos de rotação $-0VDC$ (Figura 14A) e rotação $+0VDC$ (Figura 14B).

[030] As Figuras 15A e 15B ilustram diagramas funcionais de blocos de rotação de $+1VDC$ (Figura 15A) e de rotação de $-1VDC$ (Figura 15B).

[031] As Figuras 16A, 16B, 16C e 16D ilustram diagramas funcionais do Gerador de rotação $0VDC$ (Figura 16A), Gerador de rotação $1VDC$ (Figura 16B), Gerador de rotação $2VDC$ (Figura 16C) e Gerador de rotação $3VDC$ (Figura 16D).

[032] A Figura 17 ilustra um diagrama esquemático de uma conexão centralizada de todos os módulos inteligentes para uma ECU mestre para equilíbrio de estado de carga (SOC).

[033] A Figura 18 ilustra um diagrama de fluxo de gerenciamento de fluxo de potência da estrutura no módulo de bateria inteligente.

[034] A Figura 19 ilustra um diagrama de circuito que mostra a topologia do módulo de bateria inteligente e correntes no nó 1.

[035] A Figura 20A ilustra gráficos correntes no módulo de bateria inteligente quando o módulo do supercapacitor opera como um filtro ativo.

[036] A Figura 21 ilustra um kit de bateria inteligente monofásica conectada a uma carga monofásica.

[037] A Figura 22 ilustra um kit de bateria inteligente trifásica conectado ao Motor de Relutância Comutada.

[038] Deve-se notar que elementos de estruturas ou funções semelhantes são geralmente representados por números de referência semelhantes para fins ilustrativos em todas as figuras. Também deve ser notado que as figuras se destinam apenas a facilitar a descrição das modalidades preferidas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[039] As seguintes modalidades são descritas em detalhes para permitir que aqueles versados na técnica façam e usem várias modalidades da presente divulgação. Entende-se que outras modalidades seriam evidentes com base na presente divulgação e que sistema, processo ou mudanças podem ser feitos sem se afastar do escopo das presentes modalidades.

[040] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a sistemas e métodos que facilitam o gerenciamento de bateria, controle de motor, armazenamento de energia e carregamento de bateria melhorados. Como tal, os sistemas e métodos fornecidos neste documento permitem a realização do verdadeiro potencial de eletrificação de veículo e fornecem uma plataforma de mudança de paradigma que integra de forma inteligente o gerenciamento de bateria, carregamento e controles do motor com meios para gerenciar a frenagem

regenerativa, a tração e o manuseio.

[041] Modalidades exemplares da presente divulgação são preferivelmente direcionadas a um sistema de kit de bateria modular unificado com uma arquitetura em cascata que compreende uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor integrado, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais como o bloco de construção fundamental. Um pacote interconectado de tais módulos de bateria inteligente torna-se efetivamente uma "rede neural" elétrica inteligente e a substituição de: (1) um sistema de carregamento, (2) módulos de gerenciamento de bateria, (3) conversor CC para CC e (4) controlador do motor (s).

[042] Este sistema modular de bateria inteligente não é apenas combinável com motores EV convencionais e propulsores, mas também com novos motores EV nas rodas que estão sendo desenvolvidos para uso em EVs futuros.

[043] Em modalidades exemplares fornecidas neste documento, os eletrônicos são baseados em um controlador multinível bidirecional, combinado com sensores de temperatura e lógica de interface de rede. Em certas modalidades exemplares, o controlador bidirecional é um controlador de histerese multinível bidirecional.

[044] Voltando em detalhes para as figuras, um esquema simplificado de um circuito eletrônico de potência convencional 10 e motor elétrico 70 é mostrado na Figura 1. Como mostrado na Figura 1, o circuito eletrônico de potência 10 inclui tipicamente um carregador 20 que compreende um conversor CA-CC, um kit de bateria de alta tensão 30 eletricamente acoplado ao carregador 20, um conversor CC-CC 40 eletricamente acoplado ao kit de bateria de alta tensão 30, um conversor CC-AC 50 eletricamente acoplado ao conversor CC-CC 40 e um motor elétrico 60 eletricamente acoplado ao conversor CC-AC 50.

[045] Os kits de bateria de alta tensão convencionais 30 são normalmente organizados em uma cadeia em série de módulos de bateria de baixa tensão 32 (vide, por exemplo, as Figuras 3A e 3B). Cada um desses módulos 32 é ainda composto por um conjunto conectado em série de células individuais de baixa tensão 34 e um sistema de gerenciamento de bateria embutido simples 36 para regular as características básicas relacionadas à célula, como o estado de carga e tensão (vide, por exemplo, Figura 3B). Eletrônicos com capacidades mais sofisticadas ou alguma forma de interconexão inteligente estão ausentes. Como consequência, também não há capacidade de ajustar o consumo de potência por célula individual 34 de qualquer forma. Algumas das principais consequências são: (1) a célula mais fraca restringe o desempenho geral de todo o kit de bateria, (2) falha de qualquer célula/módulo leva à necessidade de substituição de todo o kit, (3) confiabilidade e segurança de bateria são consideravelmente reduzidas, (4) a vida útil da bateria é limitada, (5) gerenciamento térmico é difícil, (6) kits sempre operam abaixo das capacidades máximas, (7) irrupção repentina de potência elétrica derivada da frenagem regenerativa não pode ser prontamente armazenada nas baterias.

[046] Circuitos ou sistemas de carregamento convencionais, como aqueles representados pelo carregador 20, são geralmente realizados em sistemas a bordo separados. Esses sistemas de carregamento fornecem potência (sinal CA ou CC) de fora do EV, convertem-na em CC e alimentam-na no (s) kit (s) de bateria 30. Os sistemas de carregamento monitoram a tensão e a corrente e normalmente fornecem uma alimentação constante estável. Dado o projeto das baterias e circuitos de carregamento típicos, há pouca capacidade de adaptar fluxos de carregamento para módulos de bateria individuais 32 do kit de bateria 30 com base na integridade da célula, características de desempenho, temperatura, etc. Os ciclos de carregamento também são tipicamente longos assim como o sistema de

carregamento e kits de bateria 30 e módulos individuais 32 não possuem o conjunto de circuitos para permitir o carregamento pulsado ou outras técnicas que otimizariam a transferência de carga ou carga total alcançável.

[047] Controles convencionais contêm estágios de conversão CC para CC (vide, por exemplo, conversor CC-CC 40) para ajustar os níveis de tensão do kit de bateria 30 para a tensão de barramento do sistema elétrico do EV. Os motores, como o motor 60, por sua vez, são acionados por conversores multifásicos simples de dois níveis (vide, por exemplo, conversor CC-AC 50) que fornecem o sinal (s) CA requerido para o motor elétrico 60. Cada motor é tradicionalmente controlado por um controlador separado, que aciona o motor em um projeto trifásico. EVs de motor duplo exigiriam dois controladores, enquanto EVs usando quatro motores nas rodas exigiriam 4 controladores individuais. O projeto de controlador convencional também não tem a capacidade de acionar motores de próxima geração, tal como, por exemplo, motores de relutância de comutação (SRM), que são caracterizados por um número maior de peças polares. A adaptação exigiria projetos de fases mais altas, tornando os sistemas mais complexos e, em última análise, falhando em lidar com o ruído elétrico e o desempenho de direção, como ondulação de alto torque e ruído acústico.

[048] Em contraste ao circuito eletrônico de potência complexa 10 de EVs convencionais, modalidades exemplares fornecidas neste documento conforme ilustrado na Figura 2, substituem o sistema de carregamento 20, módulos de gerenciamento de bateria, conversor CC para CC 40 e controlador (es) de motor 50 por um ou kit de bateria CA modular inteligente 130 que compreende um pacote interconectado de módulos de bateria inteligente ou perspicazes 132 fornecendo efetivamente uma "rede neural" elétrica inteligente.

[049] Voltando às Figuras 3A a 3I, uma série de esquemas ilustrando a simplificação do circuito eletrônico de potência de alta tensão complexo 10 para EVs

convencionais mostrado na Figura 1 para um kit de bateria inteligente ou perspicaz 130, como mostrado na Figura 2, compreendendo um pacote interligado de módulos de bateria inteligente 132 de acordo com modalidades exemplares da presente divulgação. Como mostrado na Figura 3A, o kit de bateria de alta tensão 30 compreende uma cadeia em série de módulos de bateria de baixa tensão 32, cada um dos quais compreende uma conexão em série de células de bateria de baixa tensão 34 e um sistema integrado de gerenciamento e controle de bateria 36 como mostrado na Figura 3B. O conversor CC/CA de alta tensão 50 pode ser dividido em múltiplos conversores CC/CA de baixa tensão 52 conectados em série, conforme mostrado na Figura 3C. Cada um dos conversores CC/CA de baixa tensão individuais 52 pode ser integrado dentro de um módulo de bateria individual para formar um módulo de bateria inteligente ou perspicaz 132, conforme mostrado na Figura 3D. Para armazenar de forma intermitente uma irrupção de potência de frenagem, a Figura 3E mostra um ultracapacitor 38 integrado dentro de um módulo de bateria inteligente individual 132 (vide também, por exemplo, a Figura 4). Conforme representado na Figura 3F, um kit de bateria inteligente de alta tensão 130 compreende um pacote interconectado de módulos de bateria inteligente 132. Como mostrado nas Figuras 3G e 3H, o kit de bateria inteligente de alta tensão 130 elimina efetivamente a necessidade do conversor CC/CC 40. Conforme mostrado nas Figuras 3H e 3I, o kit de bateria inteligente de alta tensão 130, que é efetivamente um kit de bateria CA modular inteligente 130, elimina efetivamente a necessidade do conversor/carregador CA/CC 20.

Arquitetura do Módulo de Bateria Inteligente

[050] As Figuras 4 e 5 mostram uma vista em perspectiva e um diagrama, respectivamente, de um módulo de bateria inteligente 132 com capacidade de frenagem/aceleração regenerativa usando supercapacitores (ou ultracaps). Tem três componentes principais: a bateria 32 com um BMS 36, o módulo de supercapacitor

38 com conversor bidirecional CC-CC baseado em Transistores MOSFET (MOSFETs) S1 e S2 com banco de supercapacitor CSC e indutor de acoplamento LC, e o conversor de saída 52 baseado em topologia de ponte H de quatro quadrantes com quatro MOSFETs S3 - S6. Como mostrado na Figura 5, o módulo de bateria inteligente 132 é acoplado a um sistema de controle de módulo de bateria 200 (ou unidade de controle eletrônico local (ECU)) e um sistema de controle mestre 210 (ou ECU mestre).

Princípio de Operação de Bateria ACi

[051] A Figura 6 representa uma topologia de kit de bateria ACi trifásico (130A, 130B, 130C) conectado ao motor 60 e compreendendo N módulos de bateria inteligente conectados em série em cada fase. Cada módulo de bateria inteligente nas Figuras 5 e 6 pode gerar três saídas de tensão diferentes, $+V_{dc}$, 0 e $-V_{dc}$, conectando a tensão-CC (da bateria) VDC à saída CA por diferentes combinações dos quatro comutadores, S₃, S₄, S₅ e S₆. Para obter $+V_{dc}$, os comutadores S₃ e S₆ são ligados, enquanto $-V_{dc}$ pode ser obtido ligando os comutadores S₄ e S₅. Ao ligar S₃ e S₅ ou S₄ e S₆, a tensão de saída é 0. As saídas CA de cada um dos diferentes níveis do conversor de saída são conectadas em série tal que a forma de onda da tensão sintetizada é a soma das saídas do inversor. O número de níveis de tensão de fase de saída m no kit de bateria ACi é definido por $m = 2s + 1$, onde s é o número de módulos de bateria inteligente. Um exemplo de forma de onda de tensão de fase para modulação de onda de pulso (PWM) modulada em kit de bateria ACi de 13 níveis com seis módulos de bateria inteligente conectados em série em cada fase é apresentado na Figura 7B e uma tensão de saída de um dos módulos de bateria inteligente 132 é mostrada em Figura 7A.

[052] O kit de bateria ACi também pode servir como um retificador/carregador para as baterias dos módulos de bateria inteligente 132 enquanto o veículo está conectado a uma fonte de CA, conforme mostrado na

Figura 6.

[053] Os sinais de comutação $S_3 - S_6$ (vide Figuras 5 e 6) para os comutadores $S_3 - S_6$ do conversor de saída 152 em cada módulo de bateria inteligente 132 podem ser gerados de diferentes maneiras dependendo da flexibilidade e dos requisitos do hardware de controle adotado. Uma abordagem é usar a modulação do vetor espacial ou PWM senoidal para gerar a tensão de referência para cada fase do módulo de bateria inteligente 132. Os sinais de comutação para cada conversor de saída do módulo de bateria inteligente podem então ser gerados usando a técnica de portadora deslocada em fase. Essa técnica garante que as células girem continuamente e que a potência seja distribuída quase igualmente entre elas.

Modulação de Tensão de Saída no Kit de Bateria ACi - Modulação PWM Multinível

[054] O princípio da técnica deslocada em fase é gerar a forma de onda PWM de saída multinível usando formas de onda de dois níveis deslocadas incrementalmente. Portanto, uma forma de onda PWM de nível N é criada pela soma de formas de onda PWM de dois níveis $N-1$. Essas formas de onda de dois níveis são geradas pela comparação da forma de onda de referência com portadoras triangulares que são deslocadas incrementalmente em $360^\circ/(N-1)$. Um exemplo de 9 níveis é mostrado na Figura 8A. As portadoras são deslocadas incrementalmente em $360^\circ/(9-1) = 45^\circ$ e comparadas com a forma de onda de referência. As formas de onda PWM de dois níveis resultantes são mostradas na Figura 8C. Essas formas de onda de dois níveis podem ser usadas como sinais de porta para os MOSFETs do conversor de saída (H-Bridge) em cada módulo de bateria inteligente. Para o nosso exemplo de 9 níveis, que compreende quatro pontes H, o sinal 0° é usado para S_3 e o sinal 180° para S_6 do primeiro módulo, o sinal 45° é usado para S_3 e o sinal 225° para S_6 do segundo módulo, e assim em diante. Observe que em todas as pontes H,

o sinal para S_4 é complementar a S_3 e o sinal para S_5 é complementar a S_6 junto com certo tempo morto para evitar o disparo de cada perna.

[055] Dependendo dos recursos e limitações do hardware que é usado para implementar a modulação, uma alternativa é gerar o sinal de referência negativo junto com as primeiras $(N-1)/2$ portadoras. O exemplo de 9 níveis é mostrado na Figura 8B. Neste caso, os sinais PWM de 0° a 135° são gerados comparando V_{ref} com as portadoras correspondentes e os sinais PWM 180° a 315° são gerados comparando $-V_{ref}$ com portadoras de 0° a 135° . No entanto, a lógica da comparação neste último caso deve ser invertida.

[056] Outras técnicas, como um decodificador de máquina de estado, também podem ser usadas para gerar os sinais de porta para as pontes H.

Modulação de Tensão de Saída no Kit de Bateria ACi - Controle de Histerese Multinível

[057] Outra abordagem para criar os sinais de comutação $S_3 \div S_6$ (vide Figuras 5 e 6) para os comutadores do conversor de saída em cada módulo de bateria inteligente é uma técnica de controle de histerese multinível. Este método de controle pode ser usado com qualquer tipo de motor e é muito eficiente, especialmente para acionadores de Motor de Relutância Comutada (SRM).

[058] O controle de histerese multinível é descrito aqui para apenas uma das três fases do kit de bateria ACi trifásico. No caso do motor PMSM, três controladores devem ser usados em conjunto com o bloco adicional de redução da corrente de circulação (não descrito aqui). Para um motor SRM, vários controladores podem ser mais de três e não há necessidade de um bloco de redução da corrente de circulação.

[059] Para o kit de bateria ACi de 9 níveis (vide Figura 6) compreendendo quatro módulos de bateria inteligente 132 conectados em série em cada fase, todos os estados de comutação possíveis para comutadores do conversor de saída com

níveis de tensão de saída correspondentes são apresentados na Tabela 1. Somente estados de comutação para elementos de comutação ímpares (MOSFETs S_3^N e S_5^N , onde $N = 1, 2, 3, 4$ é um número de módulo de bateria inteligente) são apresentados nesta tabela. Na verdade, para evitar um curto-circuito do capacitor de filtragem C_F^N , apenas um comutador em uma meia-ponte de saída do conversor de ponte H pode estar LIGADA (em modo de condução) a qualquer momento. Assim, os sinais de controle para elementos de comutação pares (MOSFETs S_4^N e S_6^N , onde $N = 1, 2, 3, 4$ é um número de módulo de bateria inteligente) podem ser facilmente obtidos invertendo os estados de elementos de comutação ímpares da mesma meia ponte. Por exemplo, se $S_3^N = 1$ e $S_5^N = 0$, então $S_4^N = 0$ e $S_6^N = 1$.

Tensão de Saída	Estados de Comutação							
	S_3^1	S_5^1	S_3^2	S_5^2	S_3^3	S_5^3	S_3^4	S_5^4
-4VDC	0	1	0	1	0	1	0	1
-3VDC								
-3VDC1	1	1	0	1	0	1	0	1
	0	0	0	1	0	1	0	1
-3VDC2	0	1	1	1	0	1	0	1
	0	1	0	0	0	1	0	1
-3VDC3	0	1	0	1	1	1	0	1
	0	1	0	1	0	0	0	1
-3VDC4	0	1	0	1	0	1	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	0
-2VDC								
-2VDC12	1	1	1	1	0	1	0	1

	0	0	0	0	0	1	0	1
-2VDC13	1	1	0	1	1	1	0	1
	0	0	0	1	0	0	0	1
-2VDC14	1	1	0	1	0	1	1	1
	0	0	0	1	0	1	0	0
-2VDC23	0	1	1	1	1	1	0	1
	0	1	0	0	0	0	0	1
-2VDC24	0	1	1	1	0	1	1	1
	0	1	0	0	0	1	0	0
-1VDC								
-1VDC1	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	1	0	0	0	0	0	0
-1VDC2	1	1	0	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	0	0	0	0
-1VDC3	1	1	1	1	0	1	1	1
	0	0	0	0	0	1	0	0
-1VDC4	1	1	1	1	1	1	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0
+1VDC								
+1VDC1	1	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	0	0	0	0	0	0
+1VDC2	1	1	1	0	1	1	1	1

	0	0	1	0	0	0	0	0
+1VDC3	1	1	1	1	1	0	1	1
	0	0	0	0	1	0	0	0
+1VDC4	1	1	1	1	1	1	1	0
	0	0	0	0	0	0	1	0
+2VDC								
+2VDC12	1	1	1	1	1	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	1	0
+2VDC13	1	1	1	0	1	1	1	0
	0	0	1	0	0	0	1	0
+2VDC14	1	1	1	0	1	0	1	1
	0	0	1	0	1	0	0	0
+2VDC23	1	0	1	1	1	1	1	0
	1	0	0	0	0	0	1	0
+2VDC24	1	0	1	1	1	0	1	1
	1	0	0	0	1	0	0	0
+3VDC								
+3VDC1	1	1	1	0	1	0	1	0
	0	0	1	0	1	0	1	0
+3VDC2	1	0	1	1	1	0	1	0
	1	0	0	0	1	0	1	0
+3VDC3	1	0	1	0	1	1	1	0
	1	0	1	0	0	0	1	0
+3VDC4	1	0	1	0	1	0	1	1
	1	0	1	0	1	0	0	0

+4VDC	1	0	1	0	1	0	1	0

Tabela 1: Estados de Comutação do Conversor em Cascata Multinível de 4 Quadrantes e 9 Níveis

[060] A tensão de saída zero 0VDC pode ser garantida se todas as células operarem no estado zero ao mesmo tempo. Isso pode ser obtido ignorando a bateria, ligando ambos os comutadores superiores ou inferiores. Por exemplo, para módulo 1 de bateria inteligente: $S_3^1 = 1$, $S_5^1 = 1$, $S_4^1 = 0$, $S_6^1 = 0$ ou $S_3^1 = 0$, $S_5^1 = 0$, $S_4^1 = 1$, $S_6^1 = 1$.

[061] Ambos os níveis de tensão -3VDC e +3VDC podem ser obtidos usando quatro várias combinações $\pm 3VDC1$, $\pm 3VDC2$, $\pm 3VDC3$, $\pm 3VDC4$, onde o último índice corresponde a um número de módulo de bateria inteligente operando em estado zero, fornecendo tensão zero de saída. Por sua vez, cada estado zero pode ser codificado usando duas combinações de comutação mencionadas acima. Portanto, há oito combinações possíveis de ajuste do nível de tensão de saída de $\pm 3VDC$.

[062] Da mesma forma, ambos os níveis de tensão -2VDC e +2VDC podem ser ajustados por cinco combinações diferentes $\pm 2VDC12$, $\pm 2VDC13$, $\pm 2VDC14$, $\pm 2VDC23$, $\pm 2VDC24$ dependendo de quais dois módulos de bateria inteligente operam em tensão de estado zero. Levando em consideração a possibilidade dupla de fornecer um estado zero, um número total de combinações possíveis para $\pm 2VDC$ é igual a dez.

[063] Ambos os níveis de tensão -1VDC e +1VDC podem ser obtidos usando quatro combinações diferentes $\pm 1VDC1$, $\pm 1VDC2$, $\pm 1VDC3$, $\pm 1VDC4$. O último índice corresponde a vários módulos de bateria inteligente operando a um nível de $\pm 1VDC$. Novamente, cada estado zero é obtido duplamente. Assim, como para o nível de $\pm 3VDC$, existem oito combinações possíveis para fornecer nível de tensão

de saída de $\pm 1\text{VDC}$.

[064] Finalmente, os níveis máximos de tensão -4VDC e $+4\text{VDC}$ podem ser fornecidos na saída da fase do conversor, quando todos os módulos de bateria inteligente em fase estão operando ao mesmo tempo. Portanto, há apenas uma combinação disponível de estado de comutação para cada um desses casos.

Seleção de Níveis de Tensão no Controle de Histerese

[065] Anteriormente, foi explicado como cada nível de tensão do kit de bateria ACi de nove níveis pode ser obtido por diferentes combinações de comutação de conversores de saída de quatro módulos de bateria inteligente 142. Mas a tarefa mais significativa para um controlador de histerese multinível é a identificação de um apropriado nível de tensão de saída em qualquer momento da operação do conversor com base em um sinal de realimentação de corrente (fase de motor) I_{REAL} .

[066] Um diagrama de blocos do seletor de nível de tensão 300 é apresentado na Figura 9. O seletor de nível de tensão compreende dois blocos de soma Sum1 301 e Sum2 307, cinco blocos de histerese 302, 303, 304, 305 e 306 e uma tabela de consulta para determinação do nível de tensão. O sinal de corrente de realimentação real I_{REAL} é subtraído da corrente de referência I_{REF} e o sinal de erro de corrente I_{ERROR} conforme sua diferença chega à entrada de todos os cinco blocos de histerese. Cada um desses blocos tem diferentes configurações de limites de limite alto (HB) e baixo (LB), conforme apresentado na Tabela 2, onde ΔI é o valor predefinido do erro de corrente máximo permitido. Quando I_{ERROR} atinge o limite superior correspondente (HB) do bloco de histerese, seu valor de saída é definido como "1" e permanece neste nível até que I_{ERROR} cruze seu limite inferior (LB). Isso definirá "0" na saída do bloco de histerese e a saída será mantida neste nível até que I_{ERROR} alcance HB novamente. Assim, se os limites inferior e superior de cinco blocos de histerese forem distribuídos dentro de uma faixa entre $-\Delta I$ e $+\Delta I$

(como mostrado na Tabela 2), então a saída de Sum2 estará variando de 1 a 6, dependendo do valor de I_{ERROR} . Uma tabela de consulta 308 apresentada na Figura 9 é usada para determinar o nível de tensão de saída necessário com base no valor de estado total (saída de Sum2) dos blocos de histerese e levando em consideração um sinal da derivada de corrente real (ou de referência) di/dt . Conforme discutido abaixo, um sinal de di/dt pode ser determinado como positivo no momento do tempo, quando Sum2 atinge um valor de 6, e será alterado para um sinal negativo, quando Sum2 se tornar igual a 1.

Limite de Histerese	Limiar de corrente
HB1	$\Delta I/5$
LB1	$-\Delta I/5$
HB2	$2\Delta I/5$
LB2	$-2\Delta I/5$
HB3	$3\Delta I/5$
LB3	$-3\Delta I/5$
HB4	$4\Delta I/5$
LB4	$-4\Delta I/5$
HB5	ΔI
LB5	$-\Delta I$

Tabela 2: Níveis de Limiar Atuais para Blocos de Histerese

Comutando Entre Níveis de Tensão no Controle de Histerese de Quatro Quadrantes de Nove Níveis

[067] Uma descrição detalhada do princípio principal de comutação entre os níveis de tensão em uma técnica de controle de histerese de quatro quadrantes de nove níveis para uma fase de operação do kit de bateria ACi de nove níveis é apresentada abaixo.

[068] Na Figura 10B, a corrente de referência I_{REF} (traço vermelho) e a corrente real I_{REAL} (traço azul) na fase do motor são apresentadas junto com cinco limites de histerese positivos (HB1 ÷ HB5) e cinco negativos (LB1 ÷ LB5) (vide Tabela 2 e Figura 10A também), igualmente distribuídos entre $I_{REF} - \Delta I$ e $I_{REF} + \Delta I$ e separados por $\Delta I/5$ um do outro (traços verdes). O erro de controle de corrente I_{ERROR} , como diferença entre I_{REAL} e I_{REF} , e a tensão de saída do conversor V_{OUT} são apresentados nas Figuras 10 (a) e 10 (c), respectivamente.

[069] O estado inicial de V_{OUT} na janela de tempo considerada (a partir de 23,06ms) foi definido previamente pelo sistema de controle em +4 VDC (onde VDC = 80 V). Neste nível de tensão, a corrente I_{REAL} está subindo e quando I_{ERROR} atinge o primeiro limite de histerese LB1 no ponto A (nível $-\Delta I/5$ na Figura 10 (a)), os estados de saída do primeiro bloco de histerese são alterados de “1” para “0”, portanto, uma soma na saída do bloco Sum2 é reduzida em um de “6” para “5” (Figura 9). E de acordo com a tabela da Figura 9 para $di/dt > 0$, a tensão V_{OUT} passa para +3VDC.

[070] Do início da janela de tempo considerada e até o tempo $t1$ (Figura 10C), a corrente I_{REF} tem um valor di/dt positivo e o controlador de histerese deve operar com os níveis de tensão apresentados na segunda coluna da tabela de consulta na Figura 10C ($di/dt > 0$). A partir de $t1$, o sinal di/dt de I_{REF} atual é negativo, mas o controlador de histerese permanece operando como di/dt positivo até o tempo $t2$, quando I_{ERROR} atinge um quinto limite de histerese LB5 e Sum2 = 1. Este evento mudará uma operação do controlador de histerese para a primeira coluna da tabela para $di/dt < 0$. Em outras palavras, um sinal de di/dt pode ser determinado como negativo no momento ($t2$), quando Sum2 atingir o valor “1” (e será alterado para

positivo, quando Sum2 se tornar igual a “6”). Esta lógica é implementada no bloco estimador di/dt , que será apresentado conforme descrito nas próximas seções deste documento.

[071] Enquanto V_{OUT} está em seu nível negativo máximo de -4VDC, a corrente I_{REAL} está caindo (Figura 10 (b)) e quando atinge o ponto F, que corresponde ao primeiro limite de histerese HB1 na Figura 10 (a), os estados de saída do primeiro bloco de histerese são alterados de “0” para “1”, portanto, uma soma na saída de Sum2 é aumentada em um de “1” para “2” (Figura 9). E de acordo com a tabela de consulta na Figura 9 para $di/dt < 0$, a tensão V_{OUT} torna-se -3VDC. No ponto G, quando I_{REAL} e I_{ERROR} alcançam HB2, Sum2 é incrementado novamente e V_{OUT} torna-se -2VDC.

[072] No método de controle de histerese fornecido neste documento, o erro máximo de corrente ΔI ocorre apenas nos pontos onde o valor di/dt da corrente de referência I_{REF} muda um sinal. Além desses pontos críticos, o método funciona de forma a minimizar o erro de corrente I_{ERROR} em $\Delta I/5$ o mais rápido possível em determinados parâmetros da carga.

Descrição Geral de Método

[073] O diagrama funcional generalizado de um controlador de corrente de histerese de 9 níveis e 4 quadrantes 500 com estado de equilíbrio de carga e rotação de estado zero é apresentado na Figura 11. Ele inclui o *seletor de estágio de comutação* 300, que funciona conforme descrito anteriormente. O sinal de saída de Sum2 na Figura 9 é denominado "Nível" na Figura 11. Este sinal representa um valor numérico para um nível geral (de 1 a 6) de um controlador de histerese de nove níveis, que é usado posteriormente no método para selecionar um nível de tensão de saída apropriado do conversor de saída do módulo de bateria inteligente.

[074] De acordo com a tabela de consulta na Figura 9, o conhecimento do sinal di/dt é requerido para escolher um nível de tensão de saída apropriado. Como

foi mencionado anteriormente, um sinal de di/dt pode ser determinado como negativo no momento, quando “Nível” atinge o valor “1”, e será alterado para positivo, quando “Nível” se tornar igual a “6”. Essa lógica é implementada no bloco *estimador di/dt*, mostrado na Figura 13. O bloco *estimador* compreende dois comparadores digitais (Comp 1 e Comp 2) e um elemento flip-flop RS. Ambos os comparadores fornecem pulsos de transição de “falso” para “verdadeiro” nos momentos, quando o sinal de “Nível” é igual a “6” (Comp 1) e “1” (Comp 2). Essas bordas ascendentes são detectadas pelo flip-flop RS, que muda seu estado de saída de acordo, fornecendo um sinal “verdadeiro” em sua saída não inversora Q quando $di/dt > 0$, e um sinal “falso” quando $di/dt < 0$.

[075] Como foi mencionado anteriormente e apresentado na Tabela 1, existem muitos estados de comutação disponíveis para cada nível de tensão do kit de bateria ACi de nove níveis, exceto de $\pm 4VDC$, quando todos os módulos de bateria inteligente estão envolvidos no fornecimento de uma tensão de saída positiva ou negativa máxima. Assim, existem as seguintes tarefas principais, que devem ser resolvidas controlando a corrente do motor, levando em consideração que a histerese “Nível” e um sinal de di/dt já são parâmetros conhecidos:

- 1) Com base no *estado de carga* (SOC) de cada módulo de bateria inteligente, uma identificação do módulo de bateria inteligente que deve ser alternado repetidamente por algum período de tempo para fornecer o nível de tensão de saída necessário e a regulação da corrente de saída. Esta metodologia de identificação deve garantir um equilíbrio do estado das cargas durante a operação do kit de bateria ACi. Quando isso é fornecido, a energia, armazenada em baterias, ou transferida de ou para o motor, é igualmente distribuída entre todos os módulos de bateria inteligente. Esta é uma condição necessária para o correto funcionamento do kit de baterias ACi, onde cada célula deve ser projetada para um perfil de temperatura específico de comutadores semicondutores com base em seus regimes

operacionais. Esta tarefa é realizada pelo bloco de *equilíbrio de SOC* (vide Figura 11) no método fornecido neste documento, e o diagrama funcional do *controlador de rotação do módulo de bateria inteligente* 600 como o componente principal deste bloco é apresentado na Figura 12.

2) Para o módulo de bateria inteligente, identificado pelo *bloco de equilíbrio de SOC*, uma rotação do estado de comutação zero. Essa rotação fornece uma distribuição de energia entre os comutadores dentro de um módulo específico em operação. Existem duas combinações possíveis de comutação para fornecer uma tensão zero na saída do módulo de bateria inteligente, conforme mostrado na Tabela 1. A metodologia de rotação alterna os comutadores usadas para fornecer uma tensão zero a cada segundo nível operacional positivo ou negativo da célula. Na verdade, como será mostrado na próxima seção deste documento, essa rotação reduz duas vezes a frequência de comutação dos comutadores em comparação com a frequência da tensão de saída do módulo de bateria inteligente e de todo o kit de bateria ACi. Existem quatro blocos *geradores de rotação* 1001, 1002, 1003 e 1004 no método fornecido neste documento para diferentes níveis de tensão de saída de 0VDC a 3VDC, que são apresentados nas Figuras 16A, 16B, 16C e 16D.

[076] Cada um dos quatro *geradores de rotação* nas Figuras 16A, 16B, 16C e 16D compreende: quatro comparadores digitais, um elemento de inversão, quatro elementos lógicos AND, dois flip-flops SR Trava 1 e Trava 2 e dois divisores de frequência por 2. A estrutura e princípio operacional de todos os blocos *geradores de rotação* são os mesmos; uma diferença está nos valores predefinidos de comparadores digitais apenas. Em um *gerador de rotação 0VDC*, quando o sinal "*di/dt*" da saída do *estimador di/dt* for "verdadeiro", o comparador Comp1 definirá a saída SR flip-flop Trava 1 como "verdadeiro" quando o sinal de "Nível" for igual a "3", que corresponde a +1VDC do nível de tensão de saída. Outro comparador Comp2, em *di/dt* positivo reinicializará a Trava 2, quando o sinal de "Nível" for igual a "2", que

corresponde a +OVDC do nível de tensão de saída. Em outras palavras, um alto nível de trem de pulso na saída de Trava 1 corresponderá à tensão de +1VDC na saída do conversor de nove níveis, enquanto seu nível zero indicará o nível de tensão +OVDC (+0 indica que o nível de 0VDC é após e/ou antes o nível +Vdc). Finalmente, o circuito incluiu o bloco divisor de frequência e o elemento de lógica AND se destina a definir o sinal de saída Rot+ OVDC em "verdadeiro" com um alto nível de saída de Trava 1, que acontece no nível de tensão de saída de +1VDC, e mantém este sinal "verdadeiro" até que ocorra uma segunda transição de +OVDC para +1VDC. Tal o sinal de saída Rot+ OVDC é usado para alternar duas combinações possíveis de comutação de estado zero para o módulo de bateria inteligente em operação de fornecimento de nível de tensão de +1VDC. A mesma lógica operacional está por trás do sinal Rot -0VDC, que é gerado pelo mesmo gerador de rotação 0VDC para alternar duas combinações de comutação de estado zero para o módulo de bateria inteligente em operação de fornecimento de nível de tensão -1VDC.

[077] O *controlador de rotação do módulo de bateria inteligente* 600 e o bloco de equilíbrio de SOC fornecido neste documento para um controlador de histerese multinível são explicados mais adiante. O diagrama funcional detalhado do *controlador de rotação do módulo de bateria inteligente* é apresentado na Figura 12. As entradas deste bloco são o estado medido das cargas SOC1, SOC2, SOC3 e SOC4 dos sistemas de gerenciamento de bateria (BMS) de todos os quatro módulos de bateria inteligente em uma fase. Os sinais de saída são os números de módulos de bateria inteligente (de 1 a 4) com um estado máximo de carga SOCmax, estado mínimo de carga SOCmin e, em seguida, SOCrot3 e SOCrot4, distribuídos da seguinte forma: SOCmin < SOCrot4 < SOCrot3 < SOCmax. No início, SOC1 e SOC2 são comparados entre si e se sua diferença ΔSOC_{12} for maior ou menor do que o limiar positivo ou negativo do bloco de histerese Hyst 1, então a saída deste bloco é

definida como "1" ou "0", respectivamente, caso contrário, ele mantém seu valor definido anteriormente na saída. Este limiar ajuda a ignorar um ruído de certo nível no sinal de realimentação e regula a frequência com que uma rotação dos módulos de bateria inteligente deve ocorrer. Com base no sinal de saída Hyst 1, o comutador 1 escolhe um número de módulo de bateria inteligente (1 ou 2) com um SOC mais alto e o comutador 5 passa seu valor SOC correspondente para Soma 3, que o compara com um estado de carga mais baixo de SOC3 e SOC4, que passam pela mesma técnica de comparação. Assim, na saída do *controlador de rotação do módulo de bateria inteligente*, os números dos módulos de bateria inteligente são distribuídos de acordo com seus SOCs como $SOC_{min} < SOC_{rot4} < SOC_{rot3} < SOC_{max}$. Antes de ir para os blocos de rotação, os sinais SOCmax e SOCmin são reatribuídos a SOCrot1 e SOCrot2 no bloco de *Equilíbrio de SOC* (vide Figura 11) levando em consideração um sinal de corrente de referência I_{REF} . Se a corrente I_{REF} for positiva, que corresponde a uma transferência de energia dos módulos de bateria inteligente para o motor, então o módulo de bateria inteligente com um SOC máximo participa de uma rotação de todos os níveis de tensão de saída positivos (mas não ao mesmo tempo). Isso causará uma descarga mais rápida deste módulo de bateria inteligente com um SOC máximo, pois na tensão de saída positiva e corrente de carga positiva há apenas uma forma de energia ser transferida: do módulo de bateria inteligente para o motor. Ao mesmo tempo, na corrente de saída positiva (ou I_{REF}), o módulo de bateria inteligente com um SOC mínimo deve participar no fornecimento dos níveis de tensão de saída negativa apenas, para carregar a tensão de sua bateria o mais rápido possível. Isso ocorre porque na corrente de carga positiva, mas na tensão de saída negativa do conversor de saída, há apenas uma direção para a transferência de energia: do motor para as baterias.

[078] Os blocos de *rotação 0VDC* e *rotação 1VDC* são apresentados nas Figuras 14A, 14B, 15A e 15B, respectivamente. Vamos descrever a *rotação +0VDC*

primeiro. Este bloco recebe um sinal de controle do bloco de *equilíbrio de módulo de bateria inteligente* SOCrot1, bem como um sinal Rot +0VDC do gerador de rotação OVDC, e fornece os sinais de controle para os elementos de comutação do kit de bateria ACi de nove níveis para tensão de saída +OVDC, onde +0 significa que o nível 0VDC segue depois e/ou antes do nível +VDC. O comutador 1 do multiplexador escolhe uma das quatro combinações diferentes de sinais de comutação, com base no sinal de entrada SOCrot1, indicando qual módulo de bateria inteligente está operando ao mesmo tempo fornecendo nível de saída +VDC. Isso significa que uma rotação do estado de comutação zero deve ser realizada para este módulo de bateria inteligente específico (com número SOCrot1). O sinal de entrada Rot +0VDC controla uma sequência de comutação entre dois estados zero possíveis [1 1] e [0 0] para o mesmo módulo de bateria inteligente.

[079] A *rotação +1VDC* do bloco tem uma estrutura mais complicada. Além do sinal de controle Rot +1VDC vindo do bloco *gerador de rotação 1VDC*, ele recebe dois sinais de controle SOCrot1 e SOCrot3 do *bloco de equilíbrio de SOC*. O primeiro sinal, SOC1rot, é usado pelo comutador 1 do multiplexador para estabelecer uma tensão positiva na saída do módulo de bateria inteligente, cujo número é especificado por este sinal. Isso pode ser feito fornecendo a combinação de comutação [1 0] para esse módulo de bateria inteligente. Todos os outros três módulos de bateria inteligente devem fornecer um estado de comutação zero. Se na saída do conversor, a tensão está mudando entre +0VDC e +1VDC, então o sinal Rot +1VDC é sempre “verdadeiro” e não há rotação do estado de comutação zero para outras três células. Se a tensão de saída estiver variando entre +1VDC e +2 VDC, então uma rotação do estado zero deve ser realizada para apenas um módulo de bateria inteligente específico que está envolvido na produção do nível de +2 VDC. O sinal de entrada Rot +1VDC controla uma sequência de comutação entre dois estados zero possíveis [1 1] e [0 0] para esse módulo de bateria inteligente.

[080] O mesmo princípio de operação é válido para *rotação* -0VDC e *rotação* -1VDC, com apenas uma diferença nos sinais de entrada SOCrot2, ao invés de SOCrot1 e Rot-1VDC, ao invés de Rot +1VDC. O sinal SOCrot3, que indica um número de células operando em ambos os níveis +2DC e -2VDC, permanece o mesmo como para blocos de *rotação* positiva.

[081] Os blocos de *rotação* +2VDC e *rotação* +3VDC têm uma estrutura complexa com quatro sinais de entrada, onde três deles SOCrot1, SOCrot2 e SOCrot3 vêm do bloco de equilíbrio de SOC e um sinal é quer do gerador de *rotação* 2VDC ou gerador de *rotação* 3VDC destina-se a controlar um sequência de mudança entre estados de comutação zero para o módulo de bateria inteligente específico.

[082] Uma discussão detalhada sobre o controle de histerese multinível é fornecida no Pedido Provisório U.S. No. 62/518331, depositado em 12 de junho de 2017, e no Pedido Provisório U.S. No. 62/521227, depositado em 16 de junho de 2017, cujos pedidos são embutidos por referência como se estabelecido por completo.

Funções ECUs Local e Mestre

[083] Os conversores eletrônicos de potência e o ECU 200 local, que gerencia a operação do módulo de bateria inteligente 132 (vide Figura 5), funcionam utilizando um estimador de estado de carga (SOC) para medir o SOC inicial da bateria. Um sistema de controle mestre (ECU) 210 recebe esses dados SOC iniciais de todos os módulos de bateria inteligente, conforme ilustrado na Figura 17 (vide também a Figura 5), e os classifica.

[084] Uma técnica de equilíbrio de SOC para controlador de histerese multinível foi descrita acima. Para PWM multinível, esta metodologia de equilíbrio é a seguinte: assumindo que todas as baterias estão equilibradas antes da descarga, a bateria mais forte é aquela com o SOC inicial mais alto e a bateria mais fraca é

aquela com o SOC inicial mais baixo quando o kit de bateria AC_i é completamente carregado.

[085] Dependendo desses dados, o ECU mestre 210 calcula a matriz de sinais de comutação correspondente que é necessária para a operação adequada de cada módulo de bateria inteligente individual com base em sua capacidade de bateria. Em outras palavras, para equilibrar o estado de carga dos módulos, o SOC de cada módulo deve ser comparado ao SOC total, que pode ser calculado como:

$$SOC_{tot} = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

[086] Onde SOC_i e Q_i - SOC individual e capacidade da bateria do i-ésimo módulo de bateria inteligente e a diferença junto com um controlador PI podem ser usados para controlar o índice de modulação (M) de cada módulo. Observe que quando os módulos estão carregando a direção do efeito da diferença de SOC deve ser invertida, pois neste caso o módulo com maior SOC deverá receber menos energia em comparação com os outros módulos.

[087] O sistema de controle local do módulo de bateria inteligente 132 obtém essas informações e, portanto, existem diferentes matrizes de sinais de comutação S_{1... N} para cada módulo de bateria inteligente que determina as correntes CC individuais (I_{DC1}, I_{DC2}... I_{DCN}) e tensões de barramento CC (tensões de bateria V_{B1}, V_{B2}... V_{BN}) do sistema. Desta forma, o gerenciamento de potência opera, e a unidade de eletrônica de potência embutida gerencia a potência de saída de cada módulo de bateria inteligente de forma autônoma. A bateria mais forte porta a corrente mais alta e a bateria mais fraca porta a menor corrente, de modo que o SOC de todas as baterias converge em um determinado momento.

Módulo de Supercapacitor

[088] O módulo de supercapacitor 38 do módulo de bateria inteligente 132 (Figura 5) é conectado em paralelo à bateria principal 32 e ao conversor de saída 52. Durante a aceleração, a tensão do capacitor pode descarregar da carga total

(50Vdc) para aproximadamente um terço de sua tensão nominal (17Vdc), permitindo a entrega de 11kW de energia útil. Esta quantidade de energia permite consumir 2,2kW de potência durante 5 segundos de um módulo de bateria inteligente e 66kW no total se 30 módulos de bateria inteligente forem colocados em um kit de bateria ACi, que é potência e tempo suficientes para uma boa aceleração sem prejuízo da vida útil de bateria. Durante a desaceleração (frenagem regenerativa), a energia é recuperada de maneira semelhante, recarregando os supercapacitores.

[089] Quando o veículo acelera, a bateria entrega a quantidade de corrente de que o motor precisa. Se essa corrente exceder o limite de corrente para a bateria, o supercapacitor fornece a diferença. A operação de frenagem regenerativa é semelhante. Nesse caso, o motor funciona como um gerador entregando a energia recuperada para a bateria, mas se a corrente injetada ultrapassar o limite, o conversor CC-CC injeta o excesso no supercapacitor.

[090] O conversor CC-CC funciona de duas maneiras: operação de Reforço (Boost), usada para aceleração que descarrega o supercapacitor; e operação de Redução (Buck) usada para desaceleração (frenagem regenerativa), que carrega o supercapacitor. Durante a operação de Reforço (aceleração), o MOSFET S₂ é ligado e desligado em um ciclo de trabalho controlado D, para transferir a quantidade necessária de energia do capacitor para o kit de bateria. Quando S₂ está LIGADO, a energia é retirada do supercapacitor e armazenada no indutor L_C. Quando S₂ é DESLIGADO, a energia armazenada em L_C é transferida para C_F, através de S₁, e então para o motor e/ou bateria. Durante a operação de Redução, o conversor introduz energia da bateria para o supercapacitor. Essa operação é realizada com uma operação controlada em S₁. Quando S₁ é LIGADO, a energia vai da bateria para o supercapacitor, e L_C armazena parte dessa energia. Quando S₁ é DESLIGADO, a energia restante armazenada em L_C é transferida para dentro do supercapacitor através do diodo de S₂.

[091] A bateria como fonte de energia primária é aquela com o maior conteúdo de energia e, portanto, deve fornecer a potência média necessária ao motor. O supercapacitor é uma fonte de energia secundária e auxilia a bateria fornecendo/absorvendo os picos de potência de carga momentâneos.

[092] A estrutura redundante de gerenciamento do fluxo de potência entre duas fontes e o motor é apresentada na Figura 18. Apresenta a vantagem entre outros métodos de controle de potência, pois permite um desacoplamento completo entre as características elétricas (tensão e corrente do terminal) de cada fonte e aquelas da carga. O controlador de fluxo de potência 1 recebe um sinal de fluxo de potência de bateria de referência $P_{BATT,REF}$ proveniente do ECU local do módulo de bateria inteligente. Este sinal é determinado pelo controlador de gerenciamento de potência principal localizado em um ECU mestre com base nos requisitos de potência do motor $P_{IBATTERY}$ e SOC da bateria do módulo de bateria inteligente individual. O controlador de fluxo de potência 1 estima uma corrente máxima de carga/descarga de bateria permitida e calcula um fluxo de potência de bateria real permitido P_{BATT} . Este sinal é comparado com $P_{IBATTERY}$ e sua diferença é aplicada ao controlador de fluxo de potência 2 como um sinal $P_{SC, REF}$. Este controlador calcula a corrente I_{SCM} com base na tensão do supercapacitor V_{SC} e determina os sinais de comutação S_1 e S_2 para o conversor de redução/reforço do Módulo de Supercapacitor, cujos princípios básicos de operação são descritos acima. Assim, o fluxo $P_{IBATTERY}$ é fornecido pelo conversor de saída, P_{BATT} é estimado com base na corrente máxima da bateria e no SOC real e é garantido como uma diferença entre $P_{IBATTERY}$ e P_{SC} , onde o último é gerenciado pelo conversor do módulo do supercapacitor.

[093] Outra função importante realizada pelo módulo de supercapacitor é uma filtragem ativa do harmônico de corrente de segunda ordem que aparece na corrente CC do conversor de saída I_{DC} como resultado da natureza de potência

pulsante intrínseca de um sistema monofásico. Considerando $V(t)_{OUT}$ e $I(t)_{OUT}$ como a tensão de saída e a corrente do módulo de bateria inteligente:

$$V(t)_{OUT} = Vm_{OUT} \cos(\omega t)$$

$$I(t)_{OUT} = Im_{OUT} \cos(\omega t + \varphi);$$

[094] O equilíbrio instantâneo de potência de entrada-saída do módulo de bateria inteligente oferece:

$$P(t)_{OUT} = V(t)_{OUT}I(t)_{OUT} = \frac{1}{2}Vm_{OUT}Im_{OUT} \cos(\varphi) + \frac{1}{2}Vm_{OUT}Im_{OUT} \cos(2\omega t + \varphi)$$

[095] O primeiro termo constante refere-se à potência média usada para carregar/descarregar a bateria. O segundo termo oscilante, entretanto, não contribui para o SOC médio da bateria. Este componente tem um valor pico a pico considerável, que pode atingir até duas vezes a amplitude da corrente de grade em um índice de modulação da unidade. O componente de corrente de segunda ordem exibe algumas desvantagens, por exemplo, aumento das perdas resistivas da bateria interna relacionadas ao valor RMS de corrente resultante, bem como mudança periódica do comportamento da bateria.

[096] As principais formas de onda para o caso de filtragem ativa são mostradas nas Figuras 20A e 20B. O supercapacitor atua como um filtro ativo visando à eliminação do harmônico de segunda ordem na corrente da bateria I_B . Antes do início das compensações (antes do momento t_1), a corrente da bateria I_B inclui o componente CC ($I_B = 130A$) e o componente de segunda ordem com uma amplitude $I_{2AC} = 60A$. A partir do momento t_1 , o módulo de supercapacitor começa a gerar a corrente do supercapacitor I_{SC} , redirecionando o harmônico de segunda ordem da corrente I_B para o supercapacitor (vide Figura 20B). Esta corrente I_{SC} tem amplitude de harmônico principal igual a do harmônico de segunda ordem da corrente I_{DC} (vide Figura 19), mas com ângulo de fase quase oposto, de tal forma que a corrente resultante na bateria I_B inclui apenas componente CC ou principalmente componente CC com algumas ondulações CA significativamente

reduzidas, conforme mostrado na Figura 20A.

[097] Em RPMs altos, um harmônico de corrente de segunda ordem é suprimido significativamente filtrando o capacitor C_F e a operação do módulo de supercapacitor não é necessária.

[098] A Figura 21 mostra a bateria inteligente monofásica de nove níveis e quatro quadrantes conectada a uma carga monofásica, que é apresentada como carga RL. Este sistema pode ser usado para armazenamento de energia em edifícios residenciais ou comerciais e sistemas de fornecimento de energia interruptíveis.

[099] A Figura 22 mostra o kit de bateria inteligente trifásica compreendendo três kits de bateria intelectual monofásica de nove níveis e dois quadrantes conectados ao Motor de Relutância Comutada (SRM) trifásico. O uso de controlador de corrente de histerese multinível e bateria inteligente permite melhorar a eficiência e o desempenho geral do SRM, bem como a redução significativa de ondulações de torque e ruído acústico.

[0100] Na descrição anterior, vários detalhes específicos são dados para fornecer uma compreensão completa das presentes modalidades. No entanto, será evidente que as presentes modalidades podem ser praticadas sem esses detalhes específicos. A fim de aumentar a clareza, alguns circuitos, configurações de sistema e etapas de processo bem conhecidos podem não ser descritos em detalhes. Em outros casos, as estruturas e os dispositivos são mostrados em um diagrama de blocos a fim de evitar obscurecer a invenção.

[0101] Os desenhos que mostram modalidades da presente divulgação são semidiagramáticos e não estão em escala e, particularmente, algumas das dimensões são para a clareza da apresentação e são mostradas de forma exagerada nas Figuras dos desenhos.

[0102] A referência na descrição anterior a "uma (1) modalidade" ou "uma

modalidade" ou "certas modalidades" significa que um recurso, estrutura ou característica particulares descritos em conexão com a modalidade estão incluídos em pelo menos uma modalidade da invenção. As aparições da frase "em uma modalidade" em vários lugares no relatório descritivo não se referem necessariamente à mesma modalidade.

[0103] Algumas porções da descrição detalhada são apresentadas em termos de algoritmos e representações simbólicas de operações em bits de dados dentro de uma memória de computador. Essas descrições e representações algorítmicas são os métodos usados por aqueles versados nas técnicas de processamento de dados para transmitir de forma mais eficaz a substância de seu trabalho para outros versados na técnica. Um algoritmo é aqui, e geralmente, concebido como uma sequência autoconsistente de etapas que levam a um resultado desejado. As etapas são aquelas que requerem manipulações físicas de quantidades físicas. Normalmente, embora não necessariamente, essas quantidades assumem a forma de sinais elétricos ou magnéticos capazes de ser armazenados, transferidos, combinados, comparados ou manipulados de outra forma. Tem-se mostrado conveniente às vezes, principalmente por razões de uso comum, referir-se a esses sinais como bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, termos, números ou semelhantes.

[0104] Deve-se ter em mente, entretanto, que todos esses termos e outros semelhantes devem ser associados às quantidades físicas apropriadas e são meramente rótulos convenientes aplicados a essas quantidades. A menos que especificamente indicado de outra forma como aparente a partir da divulgação a seguir, é apreciado que ao longo dos termos de divulgação, tais como "processar", "computar", "calcular", "determinar", "exibir" ou semelhantes, referem-se à ação e a processos de um sistema de computador, ou dispositivo de computação eletrônico semelhante, que manipula e transforma dados representados como quantidades

físicas (eletrônicas) dentro dos registradores e memórias do sistema de computador em outros dados representados de forma semelhante como quantidades físicas dentro das memórias ou registradores do sistema de computador ou outro armazenamento de informações, transmissão ou dispositivos de exibição.

[0105] As presentes modalidades também se referem a um aparelho para executar as operações aqui. Este aparelho pode ser especialmente construído para os fins requeridos, ou pode ser um computador de propósito geral seletivamente ativado ou reconfigurado por um programa de computador armazenado no computador. As presentes modalidades podem assumir a forma de uma modalidade inteiramente de hardware, uma modalidade inteiramente de software ou uma modalidade incluindo ambos elementos de hardware e software. Em uma modalidade, as presentes modalidades são implementadas em software que compreende instruções ou dados armazenados em um meio de armazenamento legível por computador, que inclui, mas não está limitado a firmware, software residente, microcódigo ou outro método para armazenar instruções para execução por um processador.

[0106] Além disso, as presentes modalidades podem assumir a forma de um produto de programa de computador acessível a partir de um meio de armazenamento utilizável por computador ou legível por computador, fornecendo código de programa para uso por, ou em conexão com, um computador ou qualquer sistema de execução de instrução. Para os fins desta descrição, um meio de armazenamento utilizável por computador ou legível por computador é qualquer aparelho que pode conter, armazenar ou transportar o programa para uso por ou em conexão com o sistema de execução de instruções, aparelho ou dispositivo. O meio de armazenamento legível por computador pode ser um sistema eletrônico, magnético, óptico, eletromagnético, infravermelho ou semicondutor (ou aparelho ou dispositivo) ou um meio de propagação. Exemplos de um meio de armazenamento

legível por computador tangível incluem, mas não estão limitados a, um semicondutor ou memória de estado sólido, fita magnética, um disquete de computador removível, uma memória de acesso aleatório (RAM), uma memória somente leitura (ROM), um disco magnético rígido, um disco óptico, uma EPROM, uma EEPROM, um cartão magnético ou um cartão óptico ou qualquer tipo de meio de armazenamento legível por computador adequado para armazenar instruções eletrônicas e cada um acoplado a um barramento de sistema de computador. Os exemplos de discos ópticos incluem disco compacto - memória somente leitura (CD-ROM), disco compacto - leitura/gravação (CD-R/W) e disco de vídeo digital (DVD).

[0107] Na medida em que as modalidades aqui divulgadas incluem ou operam em associação com memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador, então essa memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador não são transitórios. Consequentemente, na medida em que memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador são cobertos por uma ou mais reivindicações, então tal memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador são apenas não transitórios. Os termos "não transitório" e "tangível", conforme usados neste documento, destinam-se a descrever a memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador, excluindo a propagação de sinais eletromagnéticos, mas não se destinam a limitar o tipo de memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador em termos de persistência de armazenamento ou de outra forma. Por exemplo, memória, armazenamento e/ou mídia legível por computador "não transitória" e/ou "tangível" engloba mídia volátil e não volátil, como mídia de acesso aleatório (por exemplo, RAM, SRAM, DRAM, FRAM, etc.), mídia somente leitura (por exemplo, ROM, PROM, EPROM, EEPROM, flash, etc.) e suas combinações (por exemplo, RAM e ROM híbrida, NVRAM, etc.) e suas variantes desenvolvidas posteriormente.

[0108] Um sistema de processamento de dados adequado para armazenar

e/ou executar código de programa inclui pelo menos um processador acoplado direta ou indiretamente a elementos de memória através de um barramento de sistema. Os elementos de memória podem incluir memória local empregada durante a execução real do código do programa, armazenamento em massa e memórias cache fornecendo armazenamento temporário de pelo menos algum código do programa, a fim de reduzir o número de vezes que o código deve ser recuperado do armazenamento em massa durante a execução. Em algumas modalidades, dispositivos de entrada/saída (E/S) (como teclados, monitores, dispositivos apontadores ou outros dispositivos configurados para receber dados ou apresentar dados) são acoplados ao sistema diretamente ou através de controladores de E/S intervenientes.

[0109] Adaptadores de rede também podem ser acoplados ao sistema de processamento de dados para permitir o acoplamento a outros sistemas de processamento de dados ou impressoras remotas ou dispositivos de armazenamento através de redes públicas ou privadas intervenientes. Modems, modem a cabo e placas Ethernet são apenas exemplos dos tipos de adaptadores de rede disponíveis atualmente.

[0110] Finalmente, os métodos e exibições apresentados neste documento não estão inerentemente relacionados a qualquer computador ou outro aparelho específico. Vários sistemas de propósito geral podem ser usados com programas de acordo com os ensinamentos deste documento, ou pode ser conveniente construir aparelhos mais especializados para realizar as etapas de método necessárias. A estrutura necessária para uma variedade desses sistemas aparecerá na descrição abaixo. Será apreciado que uma variedade de linguagens de programação pode ser usada para implementar os ensinamentos da invenção conforme descrito neste documento.

[0111] As figuras e a descrição detalhada descrevem certas modalidades

apenas a título de ilustração. Um versado na técnica reconhecerá prontamente a partir da descrição anterior que modalidades alternativas das estruturas e métodos ilustrados neste documento podem ser empregados sem se afastar dos princípios descritos neste documento. Agora será feita referência em detalhes a várias modalidades, exemplos das quais são ilustrados nas figuras anexas. É notado que, sempre que praticável, números de referência semelhantes ou similares podem ser usados nas figuras para indicar funcionalidade semelhante ou similar.

[0112] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a uma arquitetura de módulo de conversor de bateria para um módulo de bateria inteligente (iBateria) usado como uma unidade de construção de um kit de bateria inteligente ou sistema de kits de bateria inteligente. Em modalidades, o módulo iBateria compreende uma unidade de bateria, uma unidade de módulo de supercapacitor ou de ultracapacitor e uma unidade conversora de saída. Em modalidades, uma unidade de controle local do módulo iBateria é configurada para aceitar, processar e transmitir sinais, incluindo, mas não se limitando a, sensores de temperatura, tensão e corrente e semelhantes, do módulo iBateria; sinais de gatilho e falhas de e para comutadores semicondutores; tensões de células elementares das unidades de bateria e dos módulos do supercapacitor. Em modalidades, o sistema de controle local realiza uma comunicação com e transmissão de sinais de controle correspondentes para e de uma unidade de controle mestre de um kit de bateria de corrente alternada inteligente (Kit de Bateria ACi) compreendendo uma pluralidade de módulos iBateria.

[0113] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um kit de bateria de corrente alternada inteligente (Kit de Bateria ACi) que compreende dois ou mais módulos iBateria interconectados em cada fase. Em modalidades, a tensão de saída de qualquer forma e frequência pode ser gerada nas saídas do Kit de bateria ACi como uma sobreposição de tensões de saída de módulos iBateria

individuais.

[0114] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um método de controle de histerese de corrente de multinível para controlar o Kit de Bateria ACi para fornecer SOC e o equilíbrio entre iBaterias no Kit de Bateria ACi. Em modalidades, o método permite o compartilhamento de potência entre todos os módulos iBateria no Kit de Bateria ACi. Em modalidades, o compartilhamento de potência entre todos os módulos iBateria pode ser usado para manter os SOCs dos módulos de bateria de iBaterias equilibrados em todos os momentos durante a operação, o que garante que a capacidade total de cada módulo seja utilizada independentemente de possíveis diferenças nas capacidades.

[0115] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a processos, metodologias e sistemas descritos neste documento se referem a um veículo motorizado e um sistema de armazenamento de energia estacionário.

[0116] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um veículo elétrico tendo um chassi, três ou mais rodas operativamente acopladas ao chassi, um ou mais motores elétricos operativamente acoplados às três ou mais rodas, um ou mais kits de baterias modulares inteligentes operativamente acoplados ao um ou mais motores, e um sistema de controle operativamente acoplado a um ou mais kits de baterias e um ou mais motores.

[0117] Em modalidades, o chassi é sem propulsão. Em modalidades, um ou mais motores são motores de roda.

[0118] Em modalidades, um ou mais kits de baterias modulares inteligentes têm uma arquitetura interconectada em cascata.

[0119] Em modalidades, os kits de bateria compreendem uma pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.

[0120] Em modalidades, os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com

capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor ou supercapacitor embutido, um sistema de gerenciamento de bateria, e um conjunto conectado em série de células individuais.

[0121] Em modalidades, os kits de bateria compreendem uma rede neural que compreende uma pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.

[0122] Em modalidades, os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de uma bateria com um BMS, um módulo de supercapacitor e um conversor de saída.

[0123] Em modalidades, o módulo de supercapacitor inclui um conversor bidirecional CC-CC e um banco de supercapacitor.

[0124] Em modalidades, o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.

[0125] Em modalidades, o sistema de controle compreende um controlador multinível bidirecional.

[0126] Em modalidades, o controlador multinível bidirecional é um controlador de histerese multinível bidirecional.

[0127] Em modalidades, o controlador multinível bidirecional é combinado com sensores de temperatura e lógica de interface de rede.

[0128] Em modalidades, o sistema de controle é configurado para equilibrar o uso da bateria através de comutação individual de módulos com base na idade do módulo, condição térmica e características de desempenho.

[0129] Em modalidades, os kits de bateria são alternáveis para uma operação de retificador/carregador.

[0130] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um kit de bateria modular inteligente que compreende uma arquitetura em cascata que compreende uma pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.

[0131] Em modalidades, os módulos de bateria compreendem uma

combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor embutido, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais.

[0132] Em modalidades, os módulos de bateria inteligente interconectados compreendem uma rede neural.

[0133] Em modalidades, os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de uma bateria com um BMS, um módulo de supercapacitor, e um conversor de saída.

[0134] Em modalidades, o módulo de supercapacitor inclui um conversor bidirecional CC-CC e um banco de supercapacitor.

[0135] Em modalidades, o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.

[0136] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um módulo de bateria inteligente que compreende um conversor/controlador de baixa tensão integrado com capacidade de comunicação ponto a ponto, um ultracapacitor embutido, um sistema de gerenciamento de bateria, e uma pluralidade de conjuntos conectados em série de células individuais.

[0137] As modalidades da presente divulgação são direcionadas a um módulo de bateria inteligente que compreende uma bateria com um BMS integrado, um módulo de supercapacitor operativamente acoplado à bateria, e um conversor de saída operativamente acoplado à bateria e ao módulo de supercapacitor.

[0138] Em modalidades, o módulo de supercapacitor inclui um conversor bidirecional CC-CC e um banco de supercapacitor.

[0139] Em modalidades, o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.

[0140] Todos os recursos, elementos, componentes, funções e etapas descritos em relação a qualquer modalidade fornecida neste documento se destinam

a ser livremente combináveis e substituíveis com aqueles de qualquer outra modalidade. Se um determinado recurso, elemento, componente, função ou etapa for descrito em relação a apenas uma modalidade, então deve ser entendido que esse recurso, elemento, componente, função ou etapa pode ser usado com qualquer outra modalidade aqui descrita, a menos que explicitamente declarado de outra forma. Este parágrafo, portanto, serve como base antecedente e suporte escrito para a introdução de reivindicações, a qualquer momento, que combinem recursos, elementos, componentes, funções e etapas de diferentes modalidades, ou que substituam recursos, elementos, componentes, funções e etapas de uma modalidade com as de outra, mesmo que a seguinte descrição não declare explicitamente, em um caso particular, que tais combinações ou substituições são possíveis. A recitação expressa de todas as combinações e substituições possíveis é excessivamente onerosa, especialmente dado que a permissibilidade de cada e todas essas combinações e substituições serão prontamente reconhecidas por aqueles versados na técnica após a leitura desta descrição.

[0141] Em muitos casos, as entidades são descritas neste documento como sendo acopladas a outras entidades. Deve ser entendido que os termos "acoplado" e "conectado" ou qualquer uma de suas formas são usados indistintamente aqui e, em ambos os casos, são genéricos para o acoplamento direto de duas entidades com sem qualquer entidade não negligenciável, por exemplo, entidades intervenientes parasitas e o acoplamento indireto de duas entidades com uma ou mais entidades intervenientes não negligenciáveis. Quando as entidades são mostradas como sendo diretamente acopladas, ou descritas como acopladas sem descrição de qualquer entidade interveniente, deve ser entendido que essas entidades também podem ser indiretamente acopladas, a menos que o contexto dite claramente o contrário.

[0142] Embora as modalidades sejam suscetíveis a várias modificações e

formas alternativas, exemplos específicos das mesmas foram mostrados nos desenhos e são aqui descritos em detalhes. Deve ser entendido, no entanto, que essas modalidades não devem ser limitadas à forma particular divulgada, mas, pelo contrário, essas modalidades devem abranger todas as modificações, equivalentes e alternativas que se enquadrem no espírito da divulgação. Além disso, quaisquer recursos, funções, etapas ou elementos das modalidades podem ser citados ou adicionados às reivindicações, bem como limitações negativas que definem o escopo inventivo das reivindicações por recursos, funções, etapas ou elementos que não estão dentro desse escopo.

REIVINDICAÇÕES

1. Veículo elétrico, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:
um chassi,
três ou mais rodas operativamente acopladas ao chassi,
um ou mais motores elétricos operativamente acoplados às três ou mais rodas,
um ou mais kits de baterias modulares inteligentes operativamente acoplados a um ou mais motores, e
um sistema de controle operativamente acoplado a um ou mais kits de baterias e um ou mais motores.
2. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o chassi é sem propulsão.
3. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um ou mais motores são motores nas rodas.
4. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que uma ou mais baterias modulares inteligentes têm uma arquitetura em cascata.
5. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os kits de bateria compreendem uma pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.
6. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor integrado, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais.
7. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as baterias compreendem uma rede neural que compreende uma

pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.

8. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de uma bateria com um BMS, um módulo de supercapacitor e um conversor de saída.

9. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o módulo de supercapacitor inclui um conversor bidirecional CC-CC e um banco de supercapacitor.

10. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.

11. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de controle compreende um controlador multinível bidirecional.

12. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o controlador multinível bidirecional é um controlador de histerese multinível bidirecional.

13. Veículo elétrico, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o controlador multinível bidirecional é combinado com sensores de temperatura e lógica de interface de rede.

14. Veículo elétrico, de acordo com as reivindicações 11-13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de controle é configurado para equilibrar o uso da bateria através de comutação individual de módulos com base na idade do módulo, condição térmica e características de desempenho.

15. Veículo elétrico, de acordo com as reivindicações 1 a 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os kits de bateria são comutáveis para uma operação de retificador/carregador.

16. Kit de bateria modular inteligente que compreende uma arquitetura em

casca que compreende uma pluralidade de módulos de bateria inteligente interconectados.

17. Kit de bateria modular inteligente, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor integrado, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais.

18. Kit de bateria modular inteligente, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os módulos de bateria inteligente interconectados compreendem uma rede neural.

19. Kit de bateria modular inteligente, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os módulos de bateria compreendem uma combinação integrada de uma bateria com um BMS, um módulo de supercapacitor e um conversor de saída.

20. Kit de bateria modular inteligente, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o módulo de supercapacitor inclui um conversor CC-DC bidirecional e um banco de supercapacitor.

21. Kit de bateria modular inteligente, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.

22. Módulo de bateria inteligente **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um conversor/controlador de baixa tensão integrado com capacidade de comunicação ponto a ponto, um ultracapacitor integrado, um sistema de gerenciamento de bateria e uma pluralidade de conjuntos de células individuais conectados em série.

23. Módulo de bateria inteligente, de acordo com a reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conversor/controlador compreende uma

ponte H de quatro quadrantes.

24. Módulo de bateria inteligente **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende

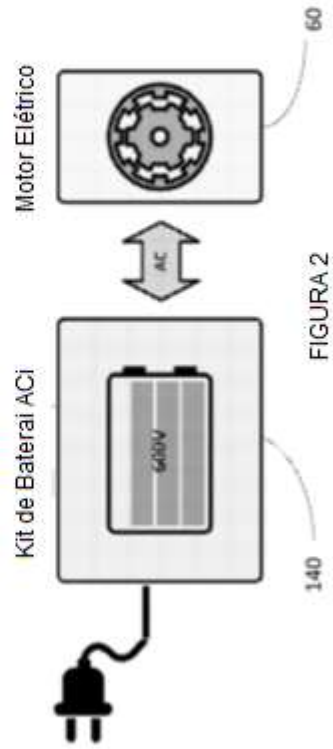
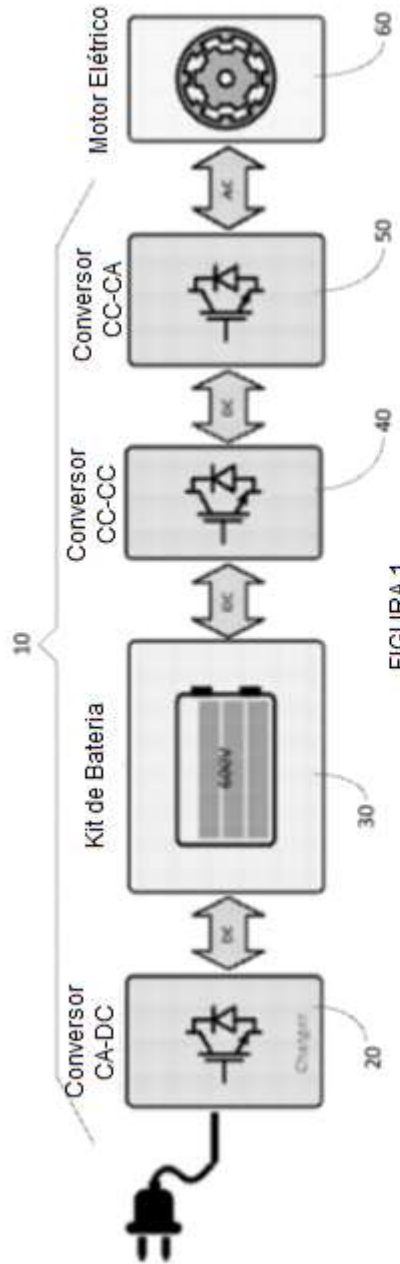
uma bateria com um BMS integrado,

um módulo de supercapacitor operativamente acoplado à bateria, e

um conversor de saída operativamente acoplado à bateria e ao módulo de supercapacitor.

25. Módulo de bateria inteligente, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o módulo de supercapacitor inclui um conversor CC-CC bidirecional e um banco de supercapacitor.

26. Módulo de bateria inteligente, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conversor de saída compreende uma ponte H de quatro quadrantes.



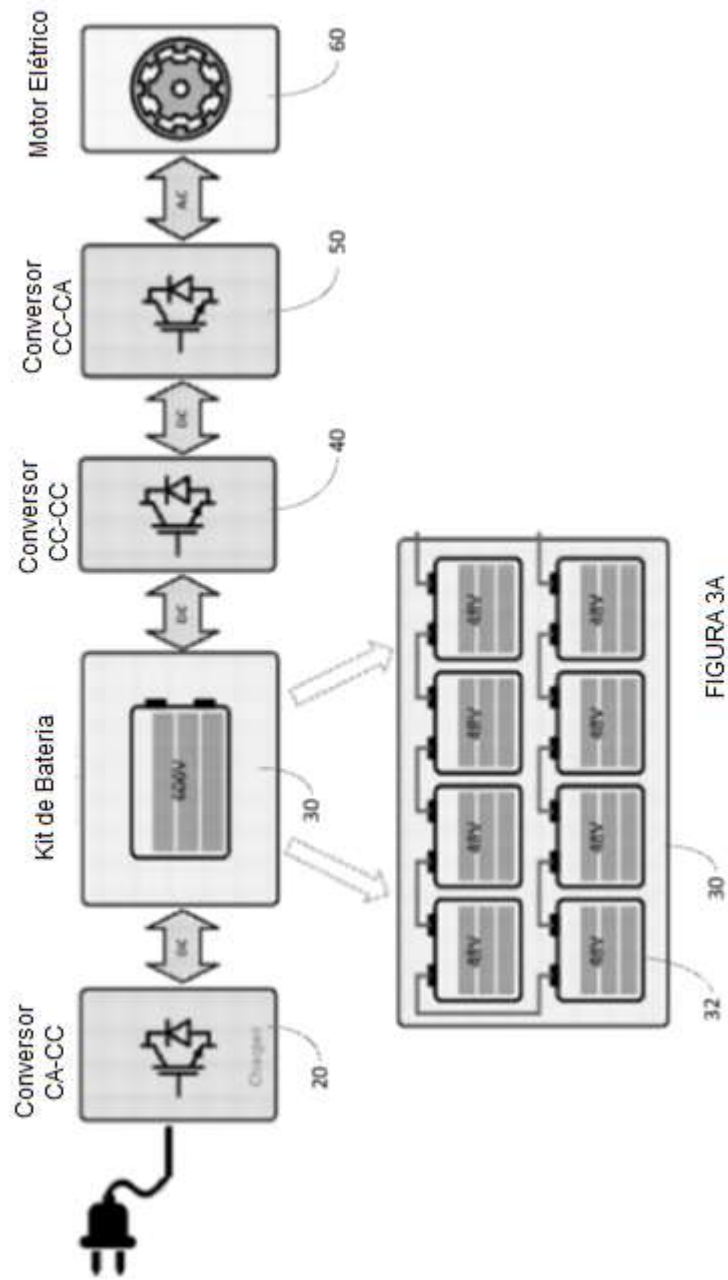


FIGURA 3A

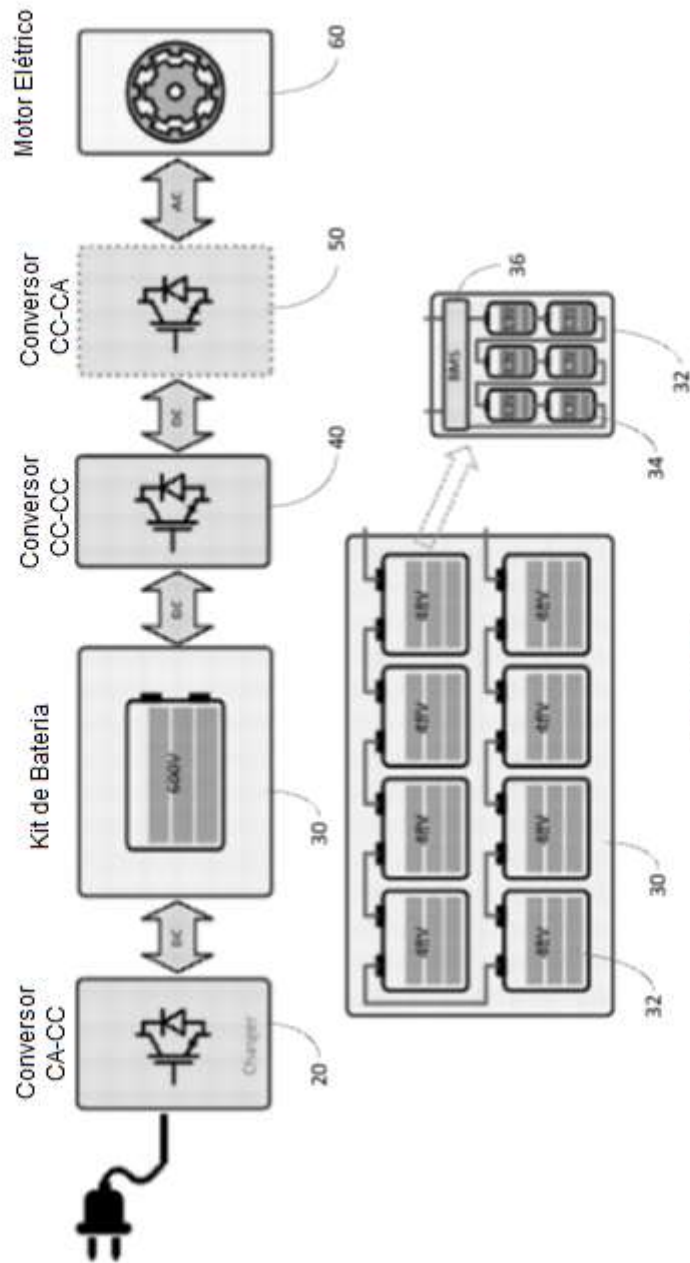


FIGURA 3B

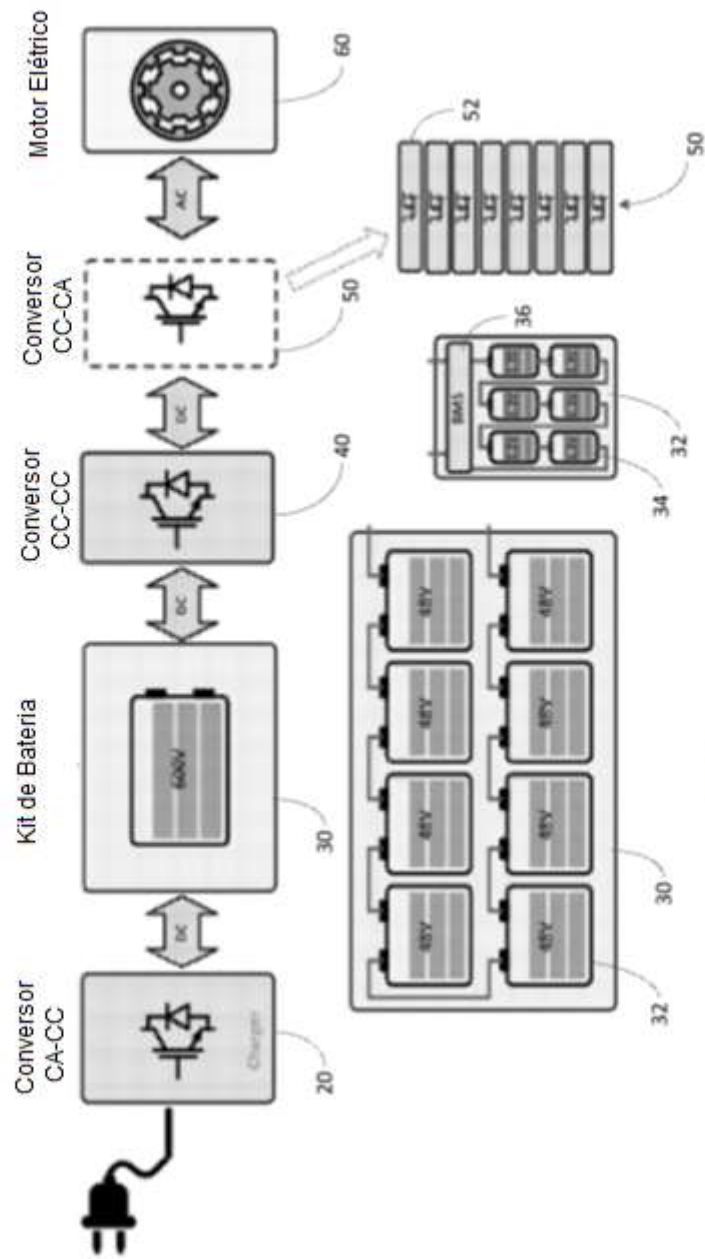


FIGURA 3C

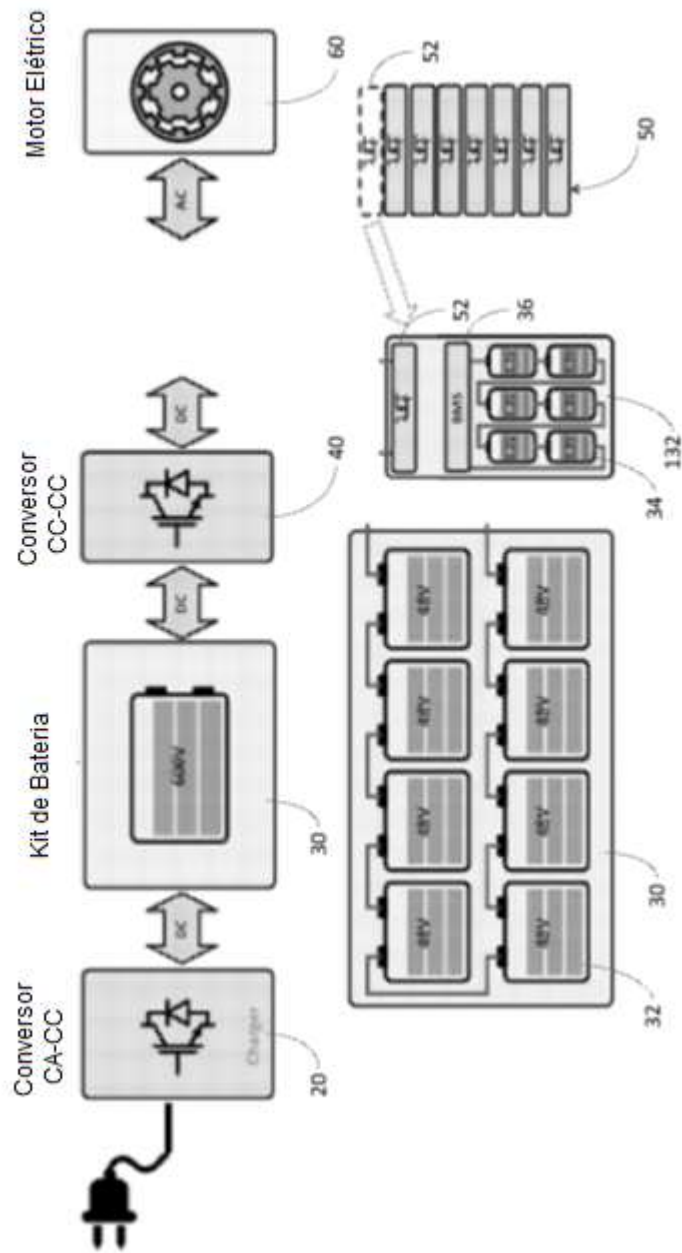


FIGURA 3D

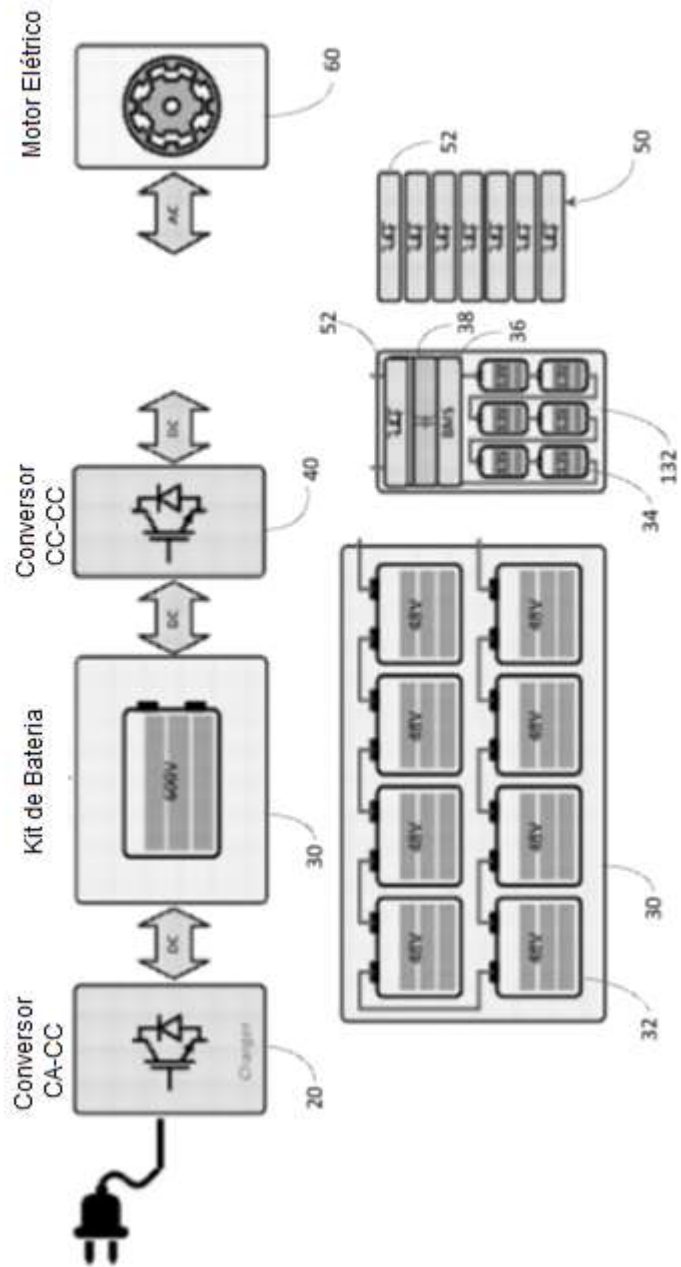
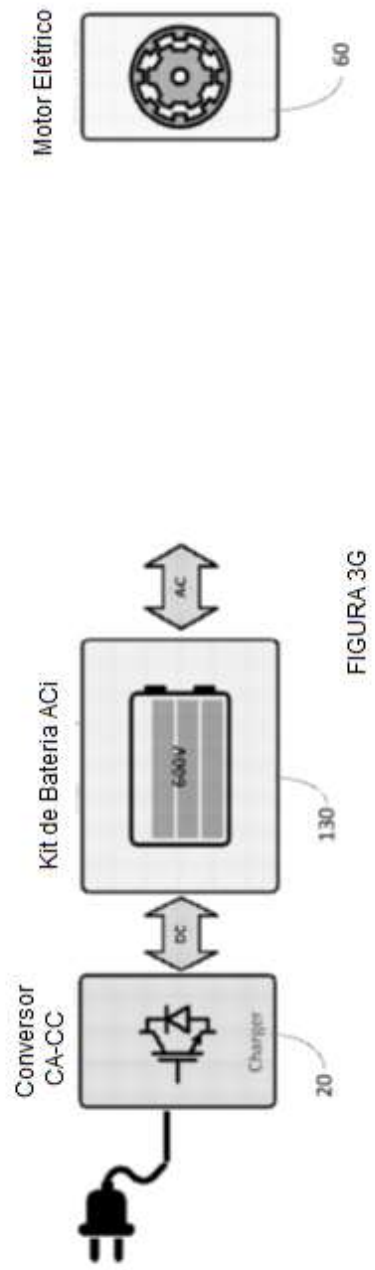
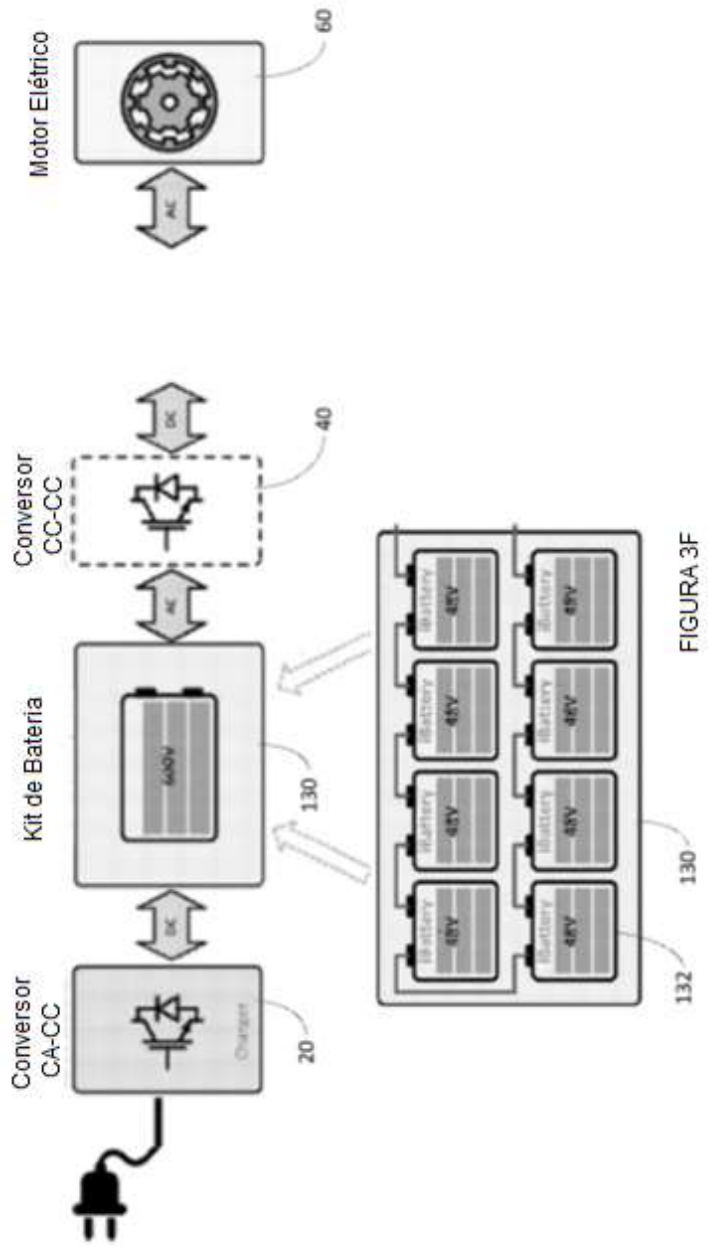
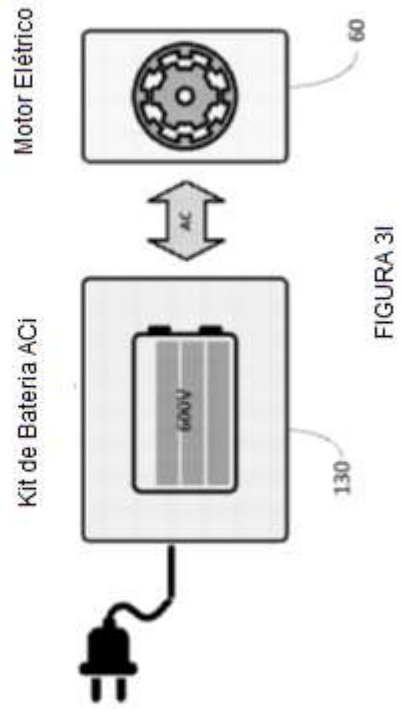
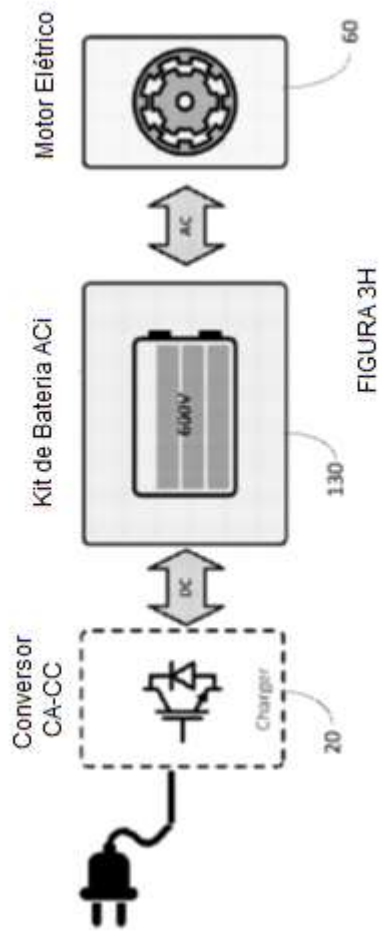


FIGURA 3E





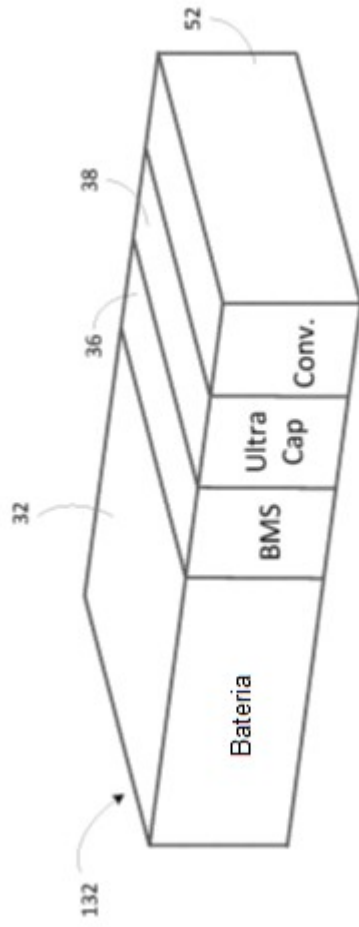


FIGURA 4

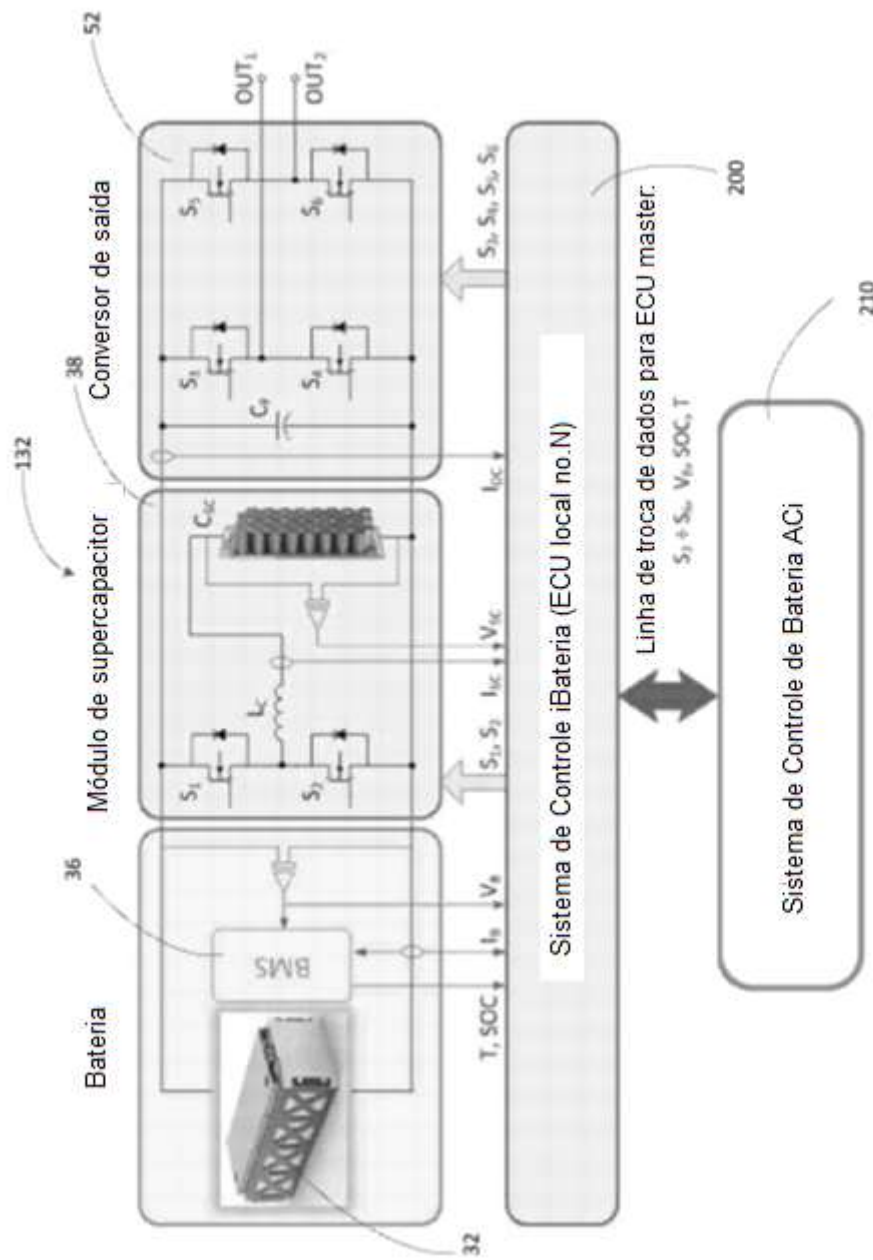
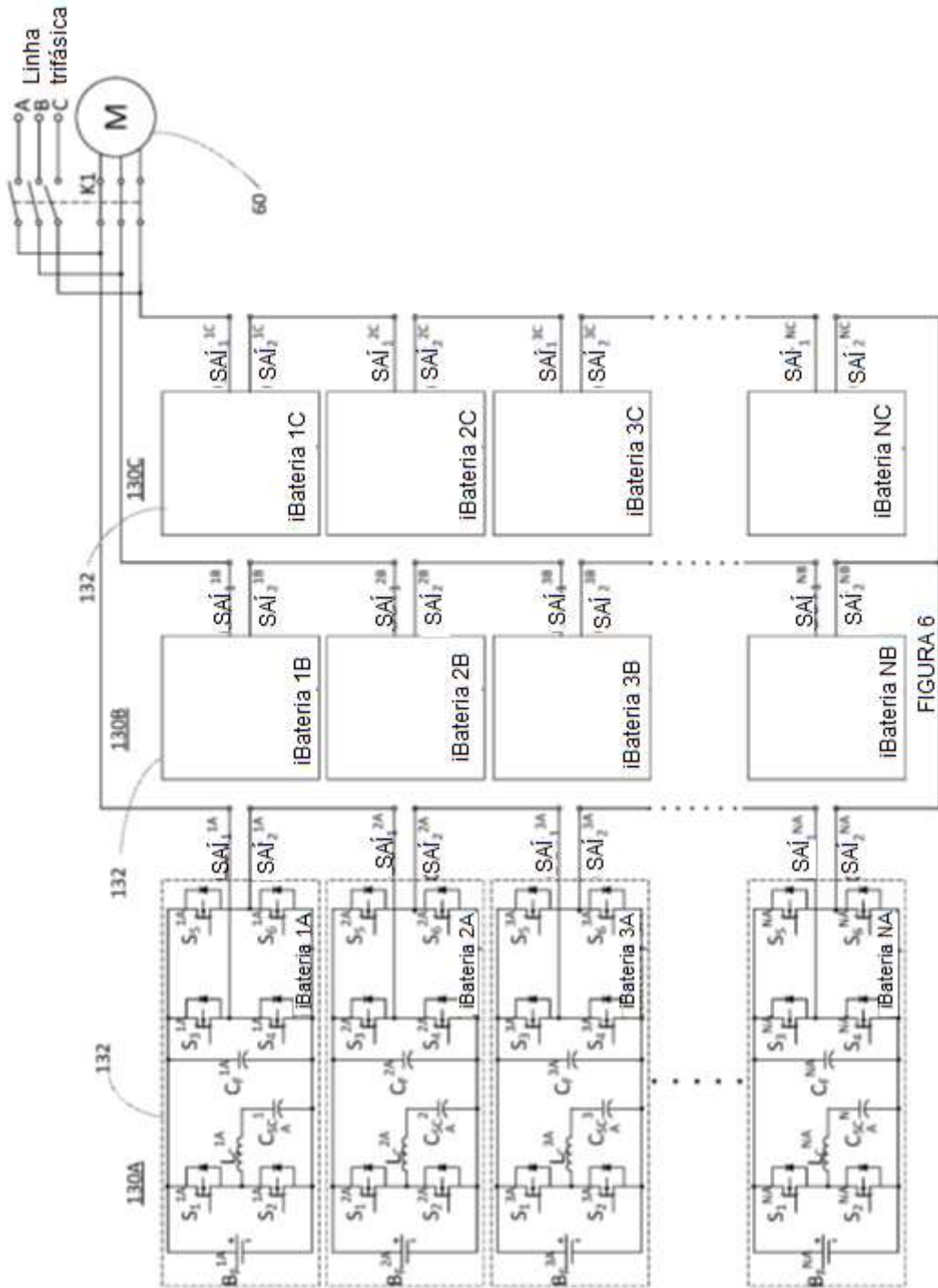


FIGURA 5



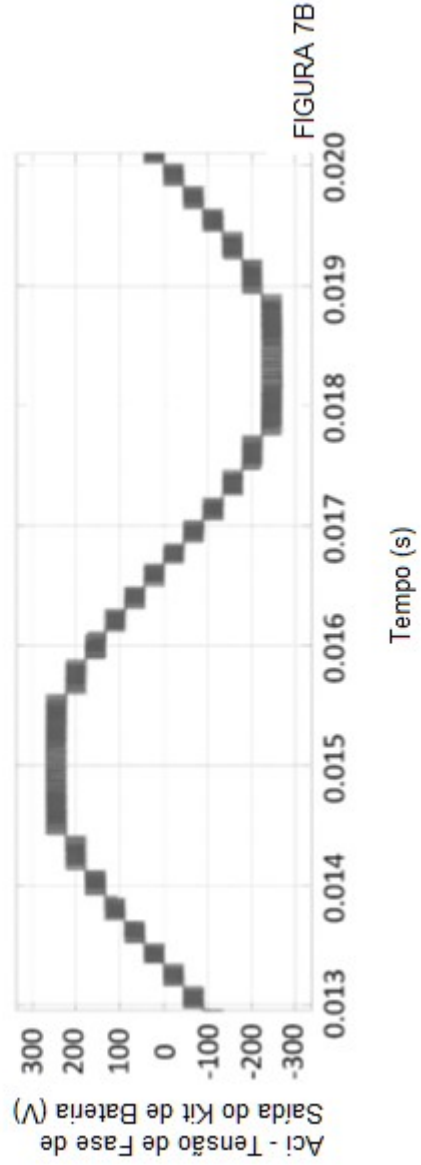
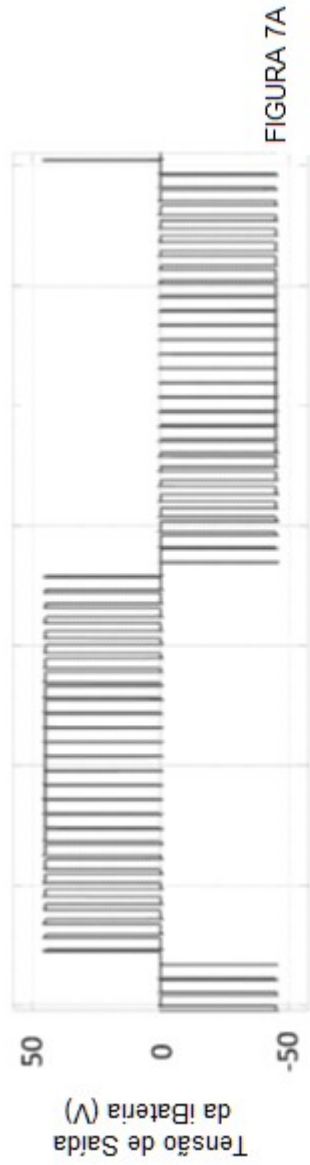


FIGURA 8A

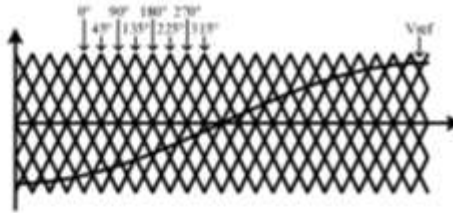


FIGURA 8B

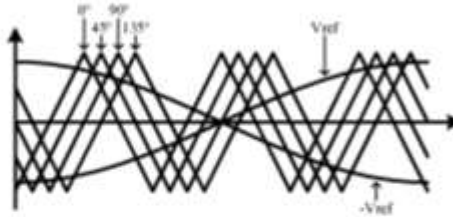


FIGURA 8C

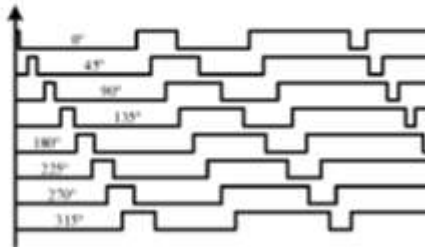
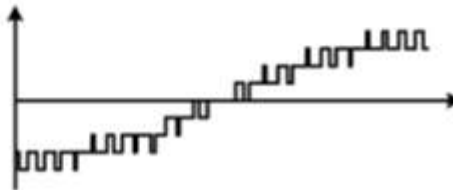


FIGURA 8D



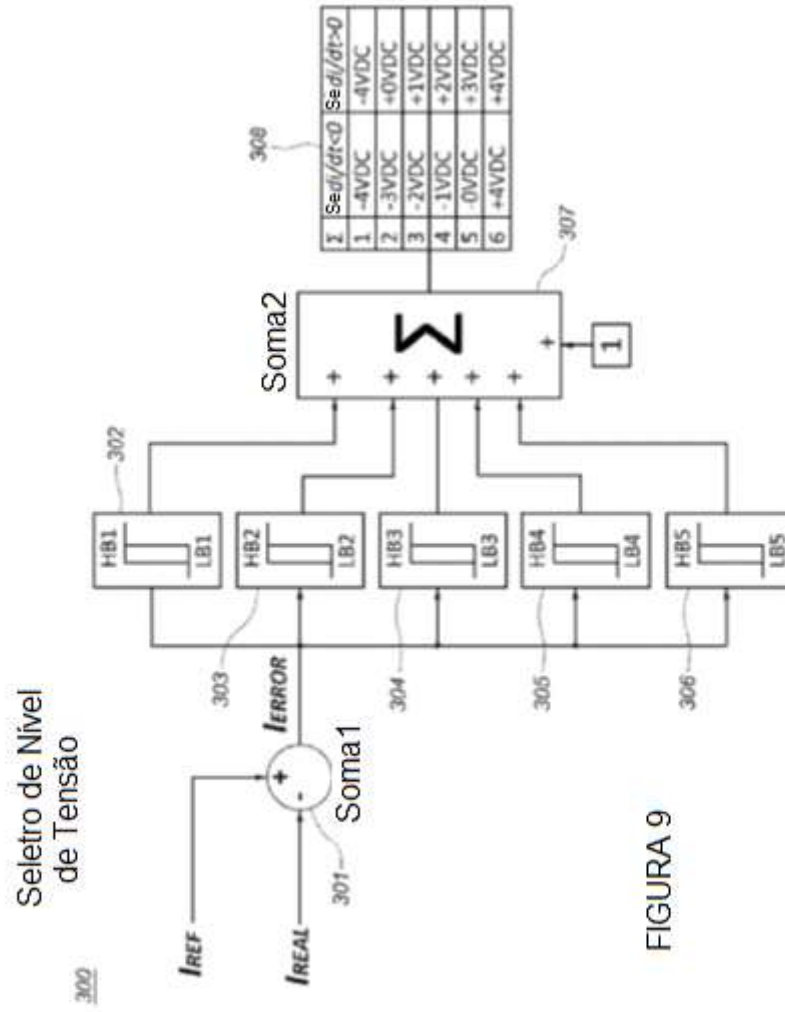


FIGURA 9

Erro de Controle de Corrente (A)

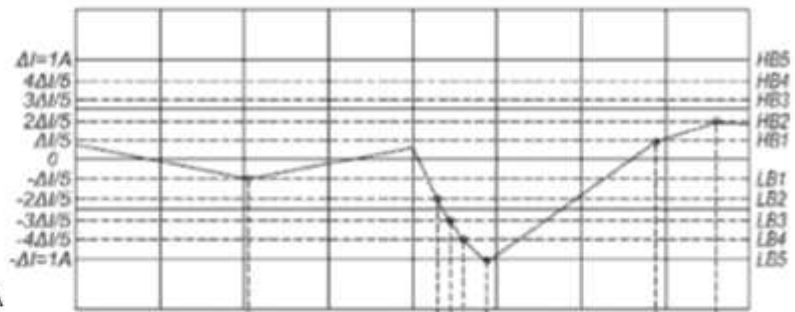


FIGURA 10A

Correntes de Referência e Reais (A)



FIGURA 10B

Tensão de Saída (V)

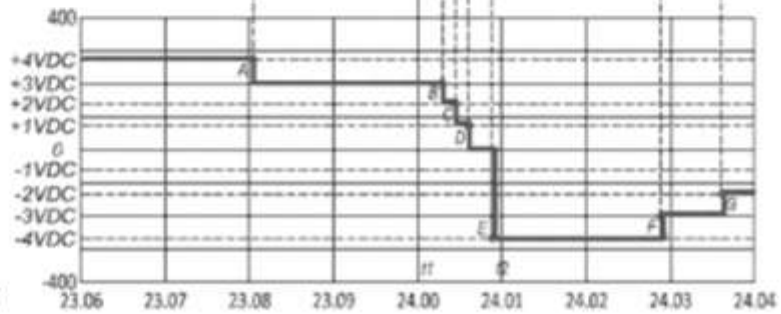
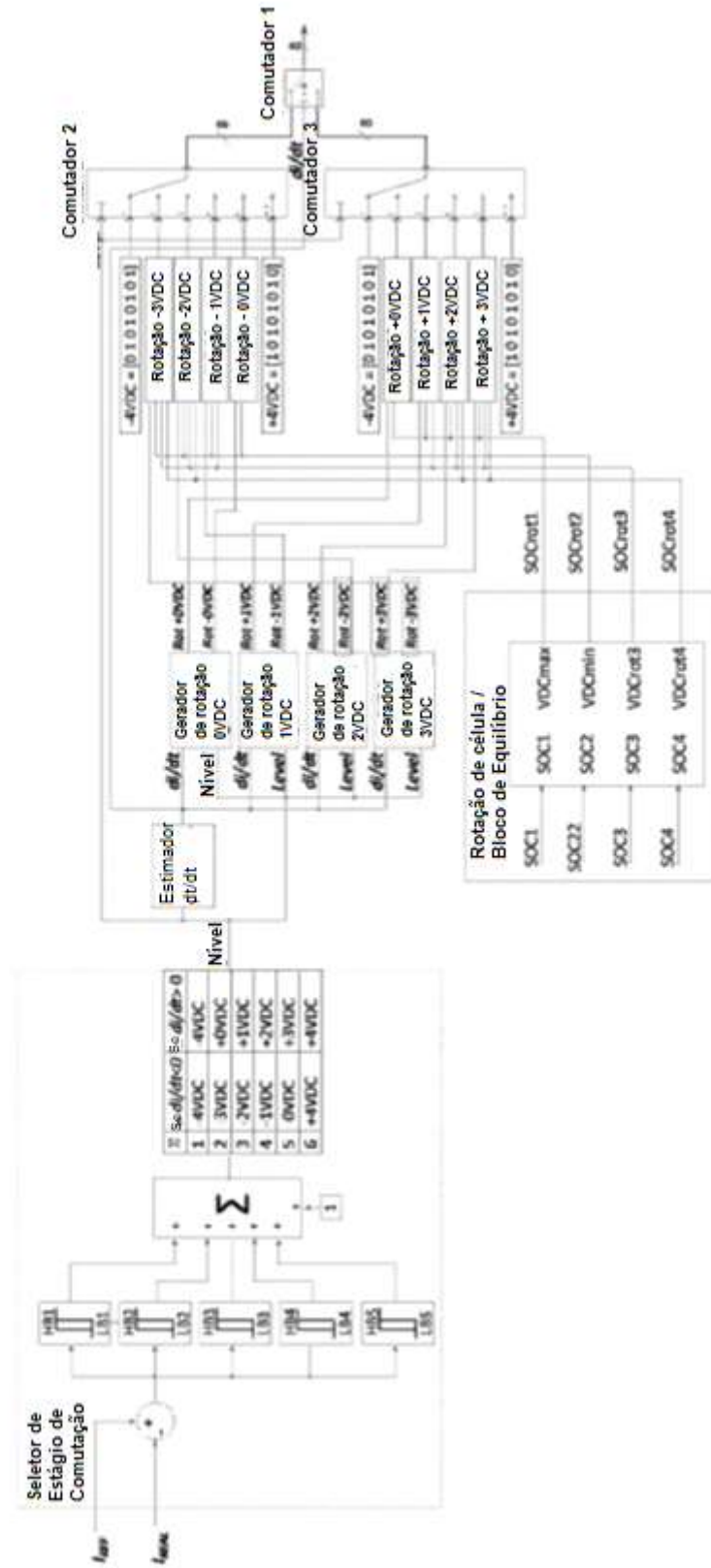


FIGURA 10C

Tempo (ms)



600

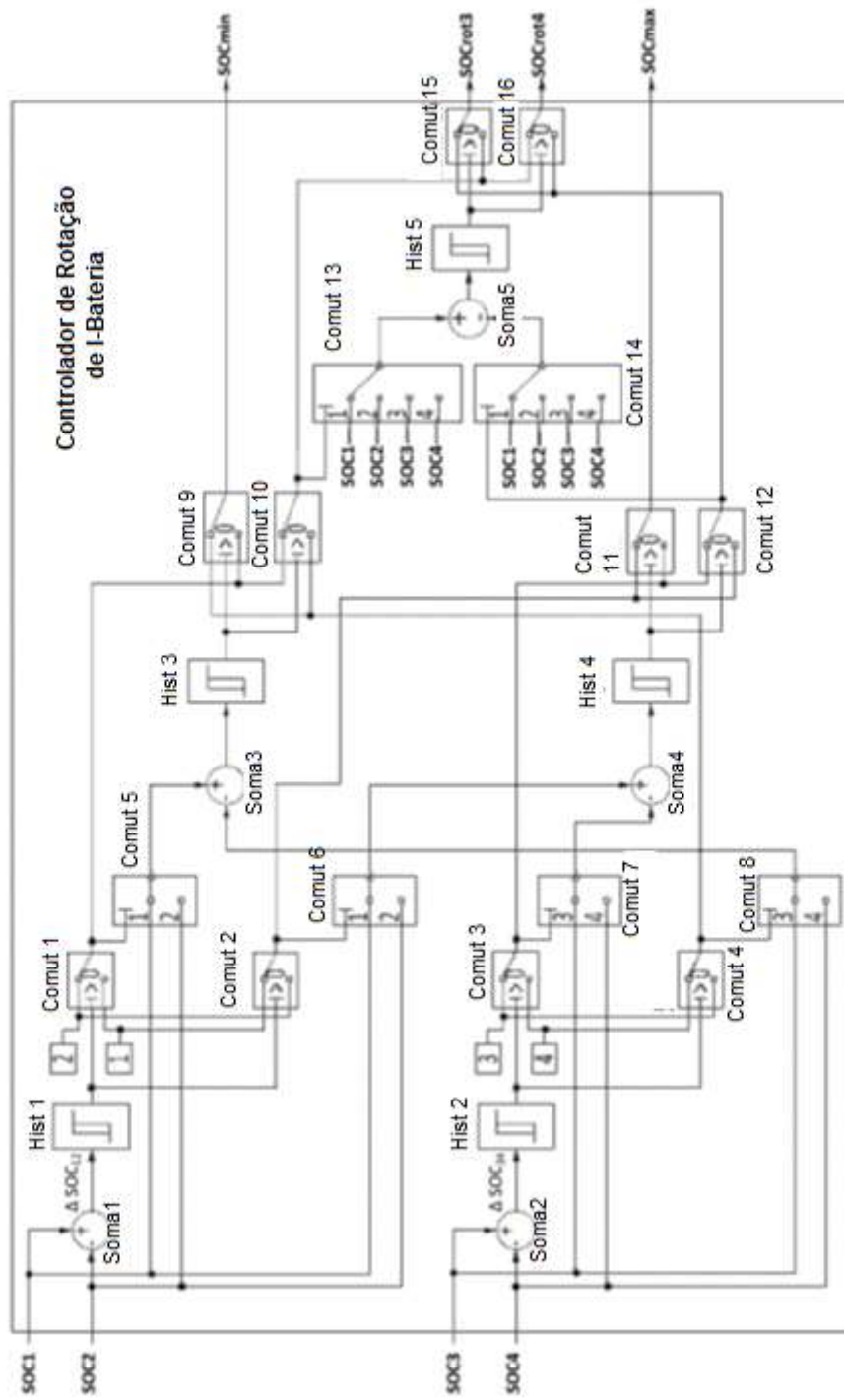


FIGURA 12

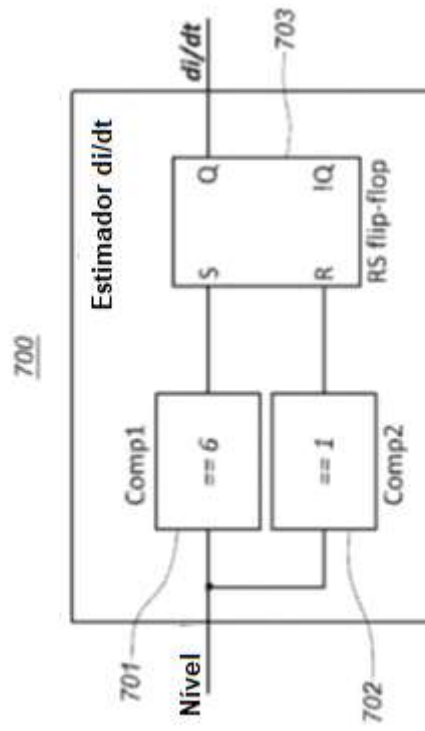
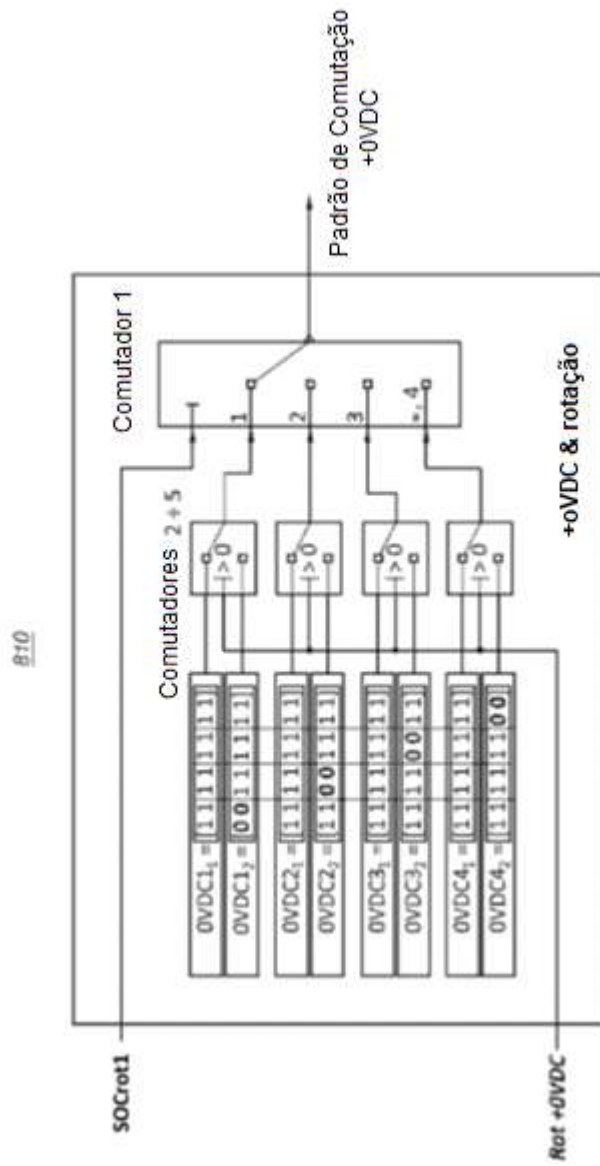


FIGURA 13



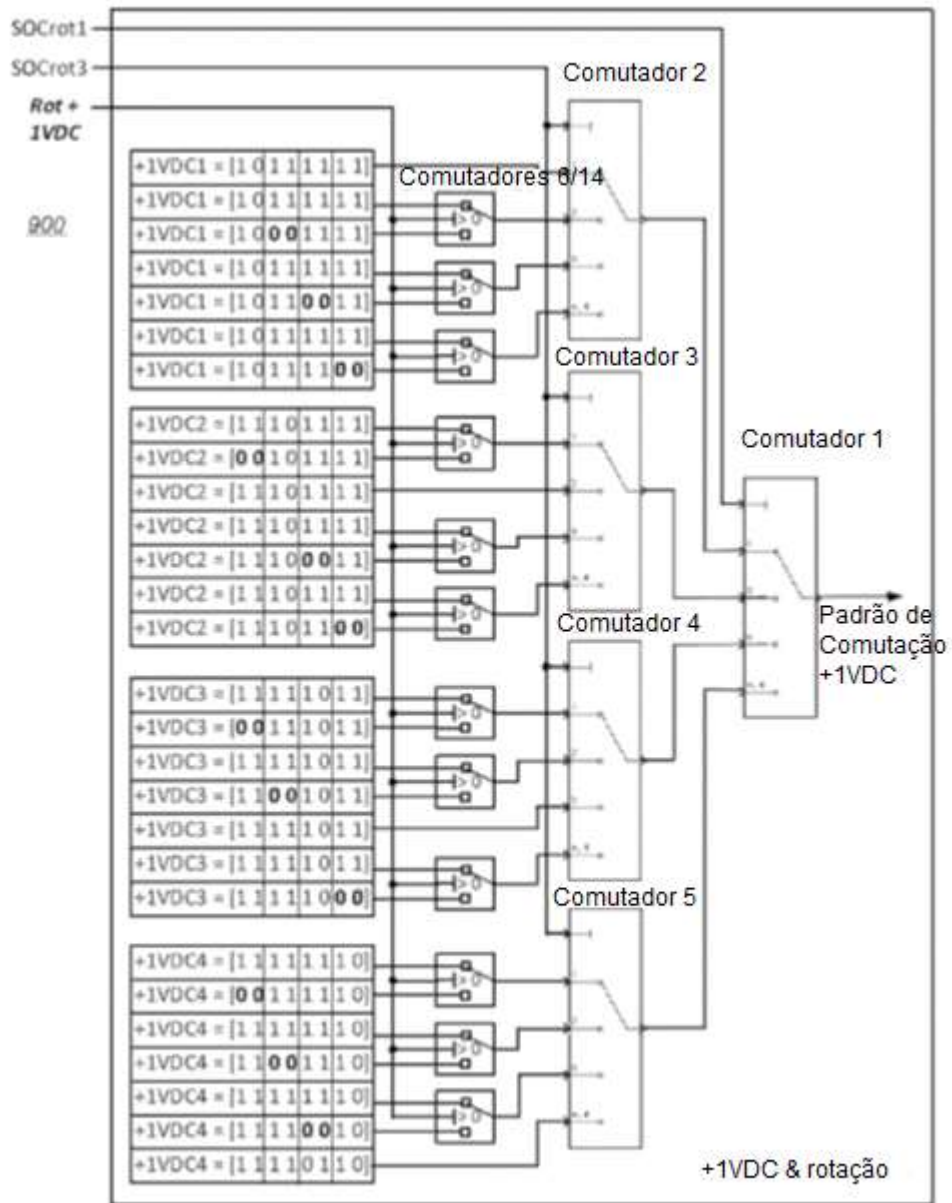


FIGURA 15A

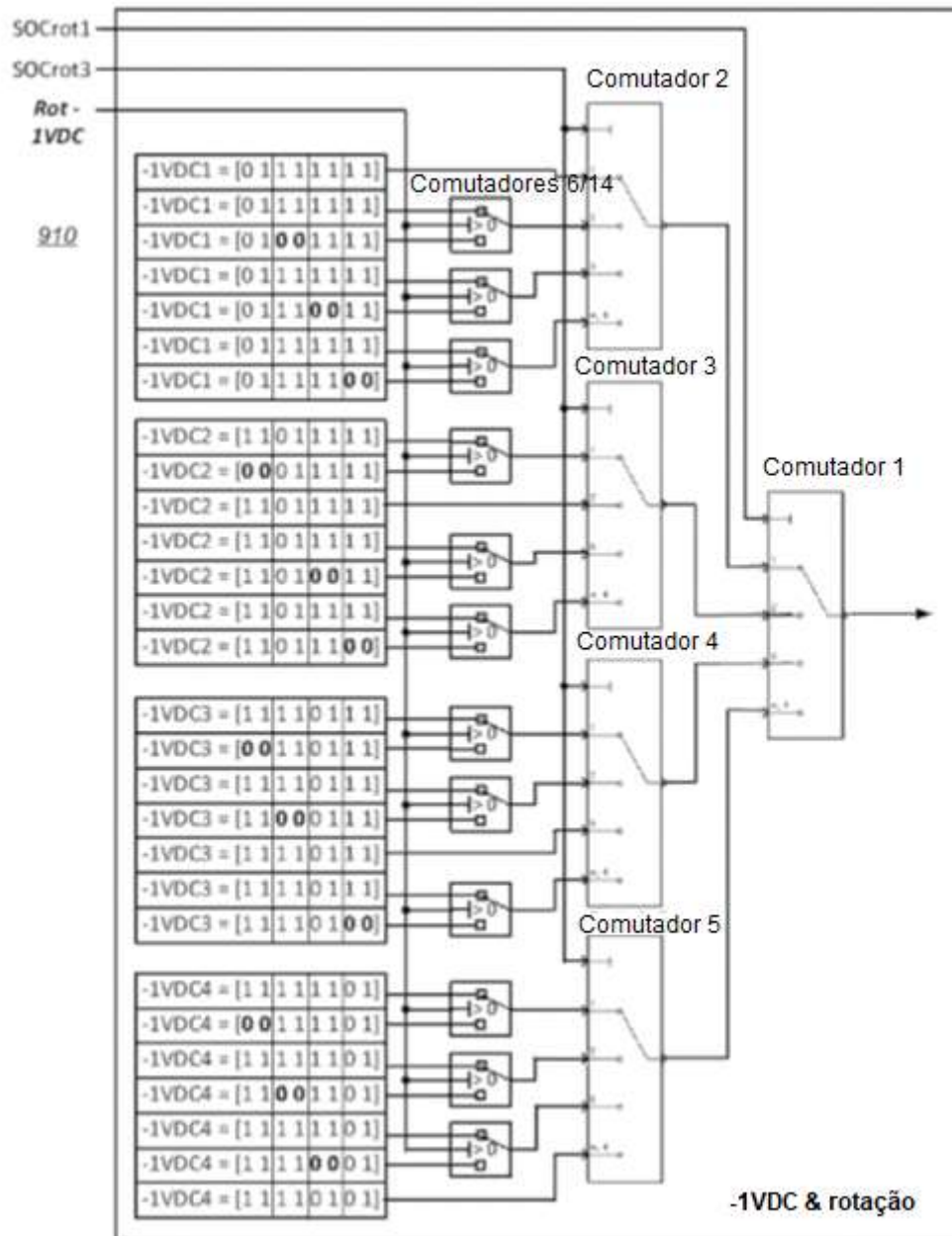


FIGURA 15B

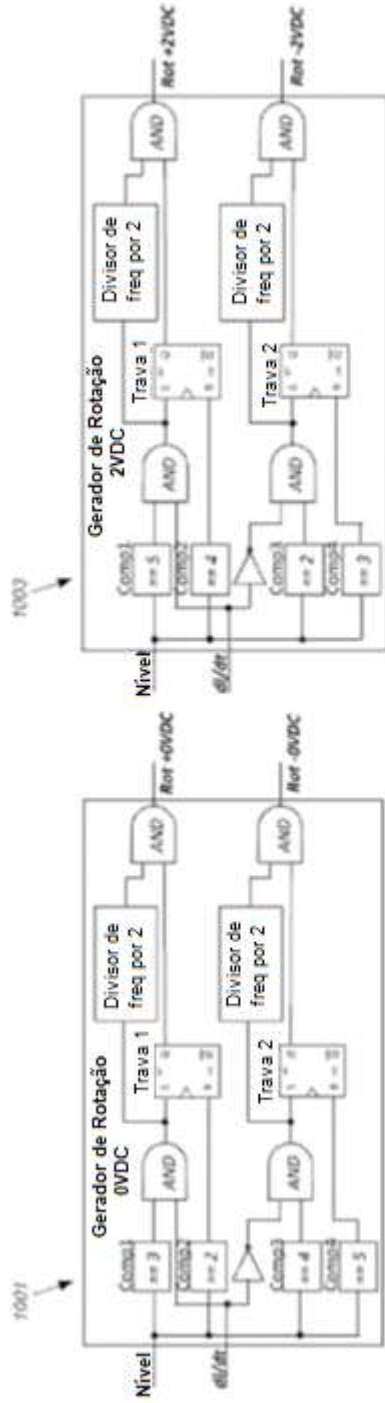


FIGURA 16A

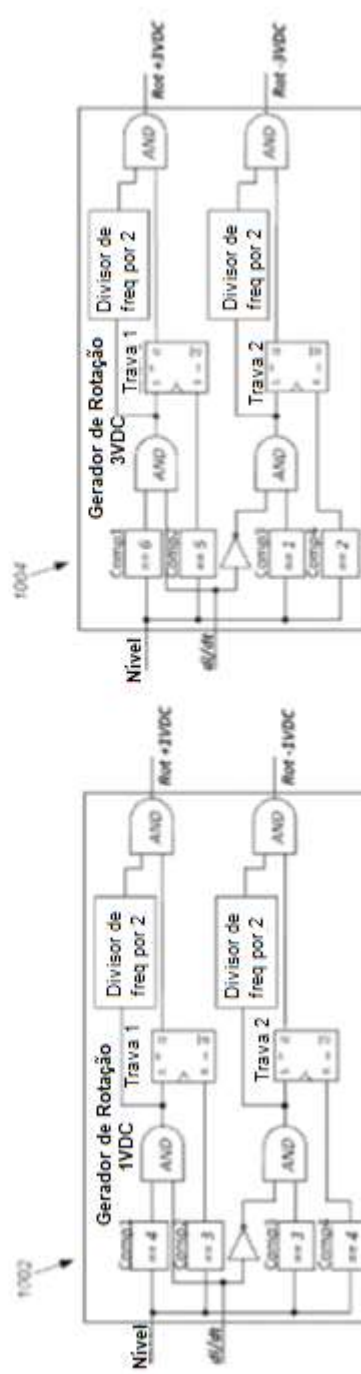


FIGURA 16B

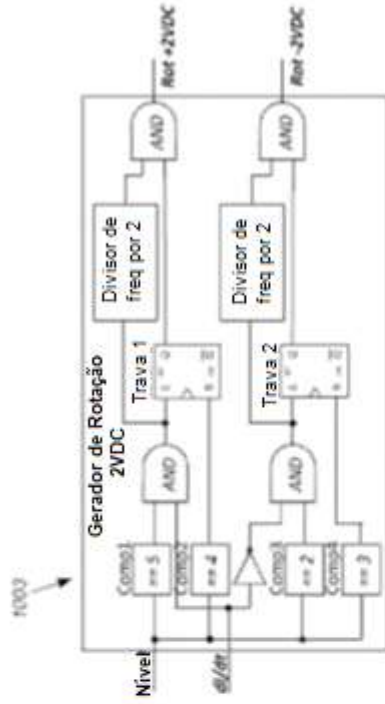


FIGURA 16C

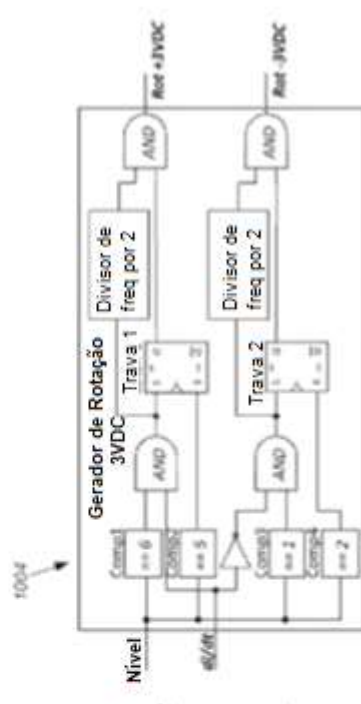


FIGURA 16D

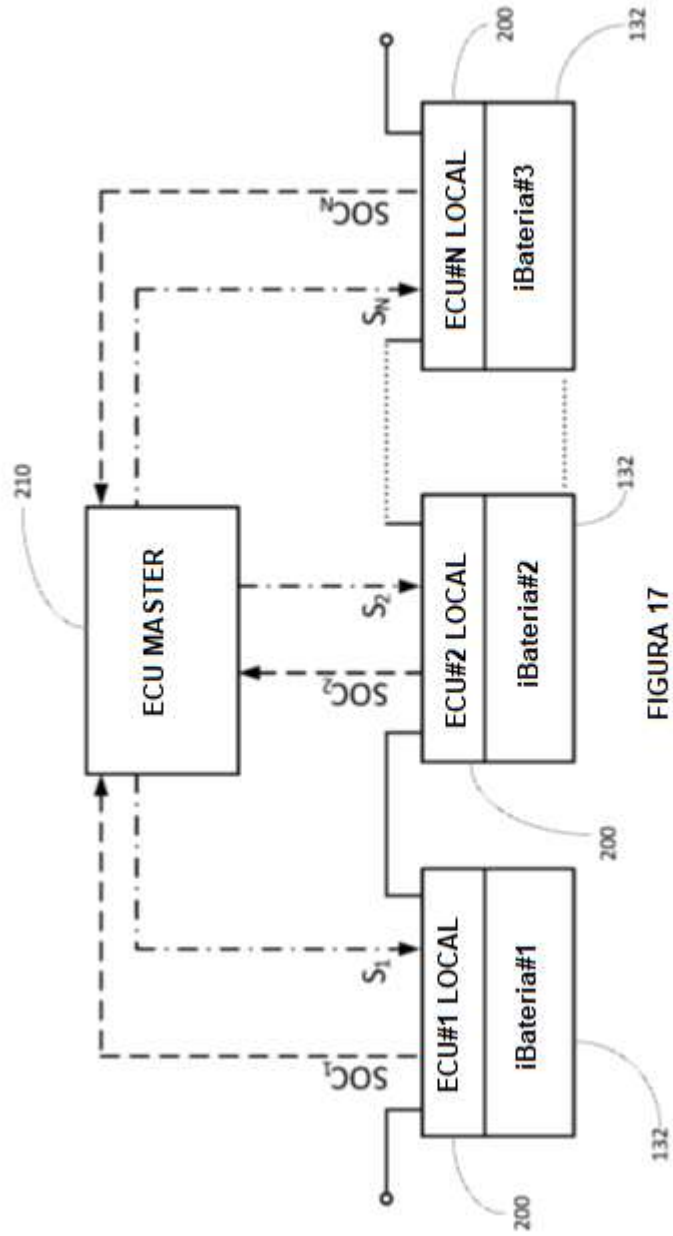


FIGURA 17

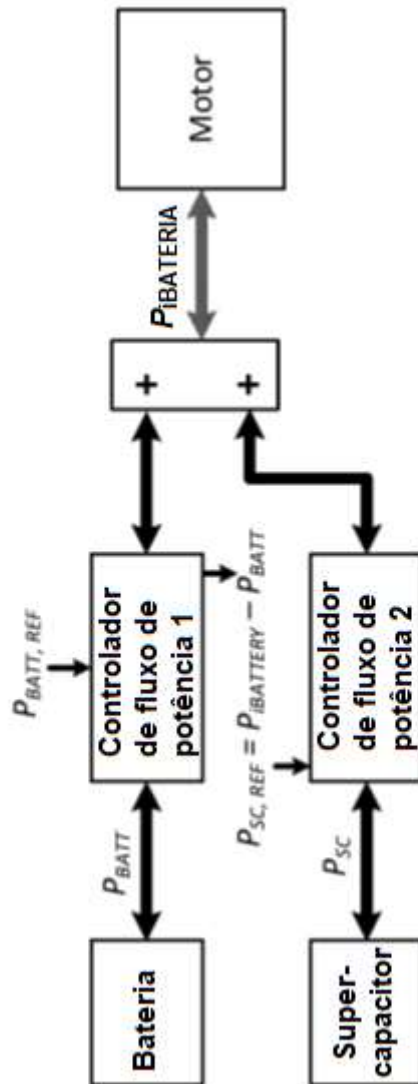


FIGURA 18

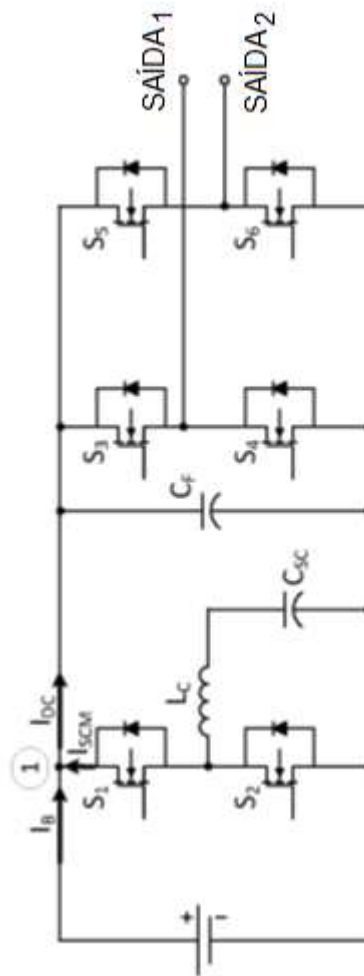


FIGURA 19

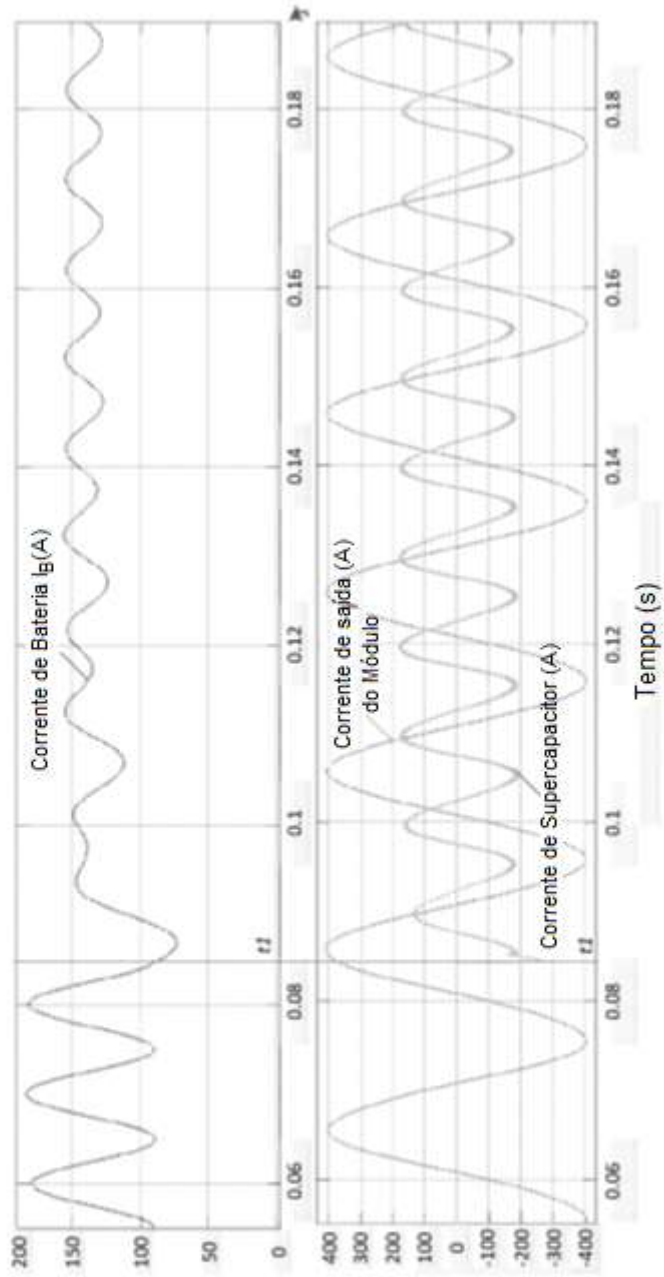


FIGURA 20A

FIGURA 20B

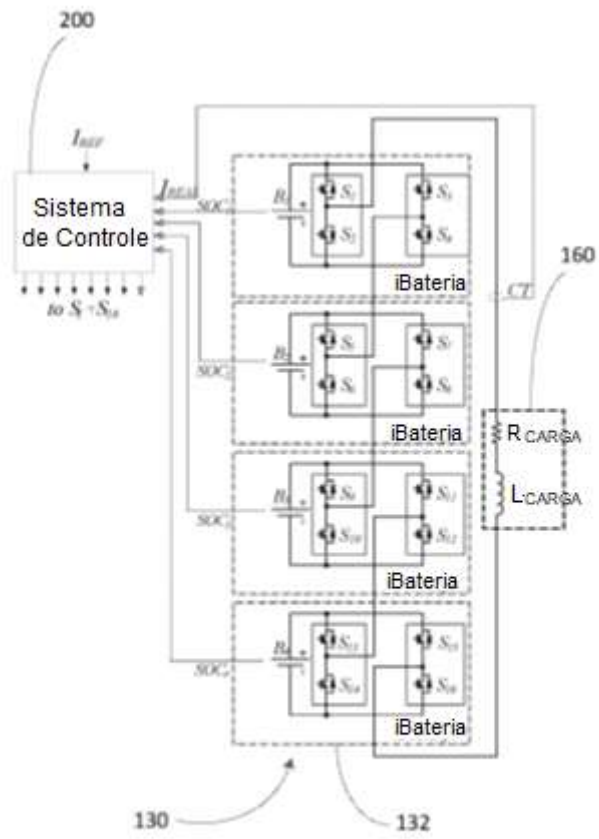


FIGURA 21

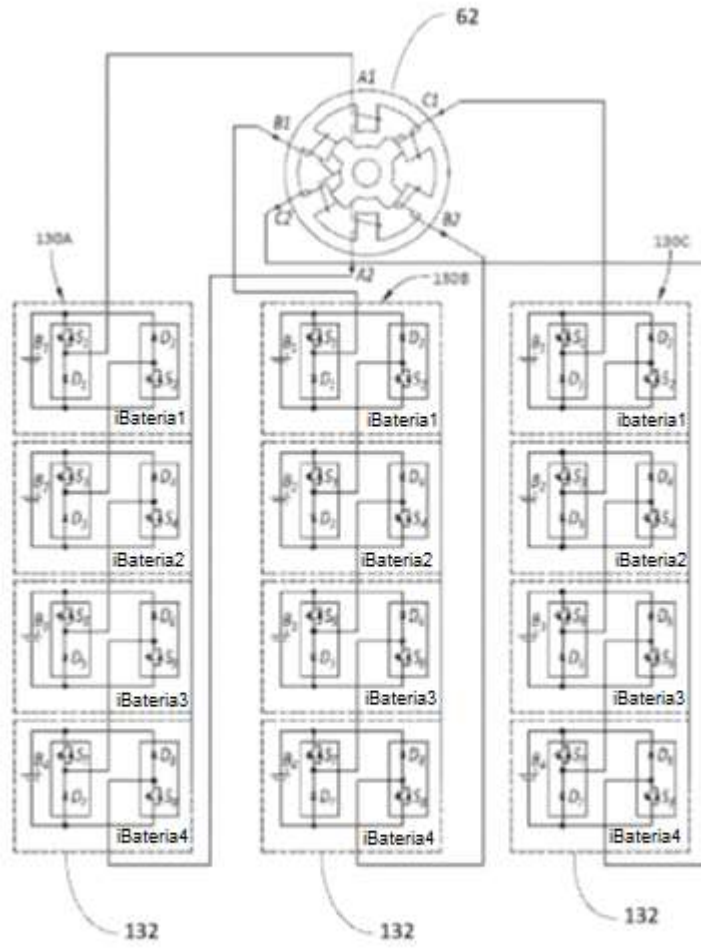


FIGURA 22

RESUMO

“SISTEMAS E MÉTODOS PARA GERENCIAMENTO E CONTROLE DE POTÊNCIA”

Sistemas e métodos direcionados para melhorar o gerenciamento de bateria, controle de motor, armazenamento de energia e carregamento de bateria. Os sistemas e métodos permitem a eletrificação do veículo e fornecem uma plataforma de mudança de paradigma que permite a integração de gerenciamento de bateria, carregamento e controles do motor com meios para gerenciar frenagem regenerativa, tração e manuseio. Em modalidades, sistemas e métodos são direcionados a um sistema de kit de bateria modular unificado com uma arquitetura em cascata que compreende uma combinação integrada de um conversor/controlador de baixa tensão em rede com capacidade de comunicação ponto a ponto, ultracapacitor embutido ou outro elemento de armazenamento de energia secundário, sistema de gerenciamento de bateria e conjunto conectado em série de células individuais como o bloco de construção fundamental.