



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

(21) BR 102020003835-4 A2



(22) Data do Depósito: 26/02/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 08/09/2021

(54) **Título:** SISTEMA ELETRÔNICO DE CONTROLE ATIVO DE POTÊNCIA PARA AMPLIFICADORES DE ÁUDIO AUTOMOTIVO

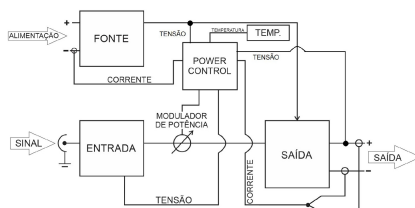
(51) **Int. Cl.:** H03F 1/00; H03G 3/20; H03F 3/20; H04R 9/06.

(52) **CPC:** H03F 1/00; H03G 3/20; H03F 3/20; H04R 9/06.

(71) **Depositante(es):** JOSE MAZINI TARIFA.

(72) **Inventor(es):** FABIO TARIFA.

(57) **Resumo:** SISTEMA ELETRÔNICO DE CONTROLE ATIVO DE POTÊNCIA PARA AMPLIFICADORES DE ÁUDIO AUTOMOTIVO. A presente inovação trata de um sistema de controle de potência para amplificadores de potência para áudio, em especial no segmento automotivo, controlando a voltagem de saída de forma dinâmica por meio da leitura das correntes de entrada e de saída e de outros parâmetros, ajustando o amplificador à carga e às condições de operação de forma automática, permitindo que o amplificador opere sempre na faixa segura de funcionamento.



RELATÓRIO DESCRITIVO

SISTEMA ELETRÔNICO DE CONTROLE ATIVO DE POTÊNCIA PARA AMPLIFICADORES DE ÁUDIO AUTOMOTIVO

Campo da inovação

[001] A presente invenção trata de sistemas eletrônicos, mais especificamente de um sistema eletrônico de controle ativo de potência para amplificadores de potência para áudio, em especial no segmento automotivo.

Histórico da inovação

[002] Devido à capacidade limitada de potência sonora de tocadores de CD e centrais multimídia automotivas, sistemas de som mais potentes requerem a instalação de um ou mais amplificadores de potência, que, por sua vez, enviam o sinal amplificado aos alto-falantes.

[003] Ao trabalhar com potências muito altas, um amplificador automotivo pode funcionar em condições extremas de aquecimento devido à alta corrente circulante e às perdas inerentes ao sistema, além de estar sujeito a instalações inadequadas ou incorretas que levam a condições de desarme por sobrecarga ou até danos ao produto.

[004] Os alto-falantes ligados na saída dos amplificadores representam a carga que transforma a potência elétrica em potência sonora, e uma das características operacionais dos amplificadores para esta transformação elétrica é a impedância.

[005] Um amplificador é desenvolvido para uma determinada impedância de saída, medida em Ohms (Ω), na qual ele tem o seu desempenho otimizado em função de sua capacidade de fornecimento de tensão e corrente elétrica, sendo necessário um “casamento” da impedância de saída do amplificador com a impedância resultante dos alto-falantes.

[006] O uso de uma impedância diferente daquela prevista para cada caso pode causar sobreaquecimento ou ainda desarme, bem como baixa performance e risco de danos ao produto. Entende-se que um amplificador com impedância mínima de saída de 2Ω não pode funcionar de forma segura em 1Ω . Por outro lado, um amplificador de 1Ω de impedância mínima perde drasticamente seu desempenho ao ser usado em 2Ω .

[007] Isso significa que o fabricante deve ter versões de produtos distintos para as impedâncias mais comuns resultantes das associações de alto-falantes. Citando o caso das impedâncias de 1Ω e 2Ω , isso leva a existência de duas versões de produto que devem ser fabricadas, vendidas e mantidas em estoque do distribuidor, lojista ou *e-commerce* para atender às aplicações do cliente.

[008] Assim, a presente inovação técnica, aplicável a amplificadores automotivos, permite explorar toda a potência disponível no amplificador nas duas impedâncias e sem desarme caso sair da área segura de operação, uma vez que a inteligência do sistema é capaz de analisar a situação de trabalho e se adaptar para que o amplificador sempre esteja dentro de sua faixa segura de operação e sem interrupções de funcionamento causadas por eventos de sobrecarga de potência e alta temperatura, com maior robustez e tolerância a erros de usuário, através da adoção de estratégias de gerenciamento inteligente da potência de entrada e saída.

Análise do estado da técnica

[009] O documento JPS64806 revela um dispositivo onde a CPU lê dados de uma tensão DC correspondente ao nível de um sinal de áudio inserido e dados de uma tensão de polarização de controle de uma RAM e os envia para uma memória de buffer de dados e um conversor D/A. Os dados da

tensão CC são temporariamente armazenados na memória e são enviados para uma fonte de tensão programável e a fonte de tensão da tensão DC correspondente aos dados de um amplificador de potência. Enquanto isso, os dados convertidos para D/A convertem para gerar a tensão de polarização de controle e a enviam para um atenuador variável, amplificando o sinal de entrada linearmente pelo amplificador de potência e, consequentemente, a impedância do estado de incompatibilidade não ocorre no terminal de saída do amplificador.

[010] A inovação proposta em JP2000341047 traz um amplificador de potência de áudio que possui um circuito amplificador que amplifica a potência de um sinal de áudio para acionar um alto-falante, um circuito sequencial digital com um sinal de pulso fornecido externamente para controle de liberação muda e um circuito de impedância variável que altera gradualmente uma impedância equivalente em resposta ao passo do circuito sequencial. Este circuito de impedância variável é interposto em um caminho de transmissão para o sinal de áudio como um elemento de controle de ganho para conduzir o controle de liberação silenciosa por um sinal de pulso.

[011] A patente CN1812653 mostra um alto-falante com impedância e potência variáveis é composto pelo alto-falante e sua chave de controle de áudio, capacitor de parada e saída de áudio, diodo, tubo do amplificador de potência com seu coletor e emissor, bem como resistor de base, chave de controle de entrada de sinal de áudio e capacitor de entrada de áudio sinal. Possui que o modo do referido alto-falante ou receptor pode ser alternado livremente.

[012] Os ensinamentos de CN200959659 trazem um alto-falante de impedância, amplificador de potência variável, um amplificador de potência e um circuito elétrico de controle são compostos por um alto-falante projetado especialmente pelo modelo de utilidade e sua chave de controle de áudio, um capacitor de saída de capacitância e áudio, um diodo, um tubo e coletor de amplificador de potência, emissor e resistores de base, um interruptor de controle de entrada de sinal de áudio e um capacitor de entrada de sinal de áudio com conexão elétrica por sua vez. O modelo de utilidade pode ser alternado entre o receptor e o alto-falante arbitrariamente e convenientemente.

[013] O documento US3898532 revela um sistema de áudio multicanal transistorizado onde é fornecido um circuito de proteção que protege o alto-falante ou outro dispositivo de carga de cada canal contra danos, onde os terminais transportadores de corrente de carga dos transistores de potência estão em curto e protege os transistores do amplificador de potência dos danos causados por condições de impedância do alto-falante indevidamente baixas, adicionando aos circuitos limitadores de corrente e/ou dissipação um circuito de proteção que desconecta o alto-falante ou outro dispositivo de carga do amplificador de potência sob tais condições. O circuito de proteção inclui preferencialmente um circuito do tipo ponte em cada canal cuja tensão de saída é uma função do fluxo de corrente através dos transistores do amplificador de potência e do valor da impedância do alto-falante ou do dispositivo de carga. Isso é conseguido variando a amplitude da tensão de entrada aplicada ao circuito da ponte de acordo com a variação na corrente de carga do transistor de potência e colocando o dispositivo

de carga de modo que a variação em sua impedância varie o grau de desequilíbrio do circuito da ponte. Um circuito de controle responde a uma dada magnitude predeterminada da tensão de saída da ponte, preferencialmente desconectando os alto-falantes ou dispositivos de carga de todos os canais. O circuito de controle também responde de maneira semelhante a condições de tensão anormais no circuito do amplificador de potência resultantes dos transistores do amplificador de potência.

[014] Percebe-se, então, que as anterioridades apontadas não antecipam o objeto da presente inovação, onde um sistema eletrônico de controle ativo de potência para amplificadores de áudio automotivo mantém o amplificador dentro da faixa segura de operação com a potência máxima uniforme dentro de uma faixa ampla de impedâncias, utilizando informações de sinais internos, sensores de corrente, sensores de temperatura e auxílio de inteligência artificial.

Descrição das figuras

[015] A Figura 1 representa um diagrama de blocos do sistema da presente inovação, onde vemos os principais blocos de entrada, saída e controle.

[016] A Figura 2 representa o esquema geral dos componentes do sistema aqui proposto.

[017] A Figura 3 ilustra a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador convencional de 1Ω .

[018] A Figura 4 ilustra a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador convencional de 2Ω .

[019] A Figura 5 ilustra a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador no sistema inovador aqui proposto.

[020] A Figura 6 ilustra o sinal de saída quando atinge o ponto de *clipping*,

com o enquadramento nos extremos superior e inferior da onda.

Descrição detalhada da inovação

[021] A presente inovação trata de um sistema eletrônico de controle ativo de potência para amplificadores de áudio, de modo a manter o amplificador dentro da faixa segura de operação, com tolerância a erros ou excessos e com a potência máxima uniforme dentro de uma faixa ampla de impedâncias, solucionando os inconvenientes das técnicas atuais aplicadas no desenvolvimento e fabricação de amplificadores, onde temos modelos específicos para cada impedância e que não podem operar de forma confiável ou eficiente em impedâncias diferentes do projeto.

[022] A inovação também propõe manter a operação do amplificador mesmo em situações mais severas de carga e temperatura, onde naturalmente se ocorria o desligamento total do produto ou eventualmente danos aos componentes eletrônicos internos do produto.

[023] O sistema da presente inovação garante a manutenção da funcionalidade e ao mesmo tempo a integridade do produto quando sujeito a situações que levam ao desarme ou ainda a colapso total em amplificadores convencionais.

[024] Na prática, isso permite:

- a) manter apenas um modelo que atende duas aplicações (1Ω e 2Ω , por exemplo), simplificando a logística de fabricação, distribuição e venda, desobrigando manter duas versões de um mesmo produto em estoque;
- b) mais liberdade ao consumidor para fazer atualização ou troca dos alto-falantes por outros modelos ou impedâncias sem necessidade de substituição do amplificador;
- c) funcionamento mais seguro e sem desligamento mesmo quando em

condições mais severas, pois o sistema proposto controla a capacidade máxima do amplificador evitando sobrecargas que podem levar desde o desarme até danos aos circuitos internos;

- d) melhor rendimento, com aproveitamento efetivo dos picos de potência;
- e) mais robustez ao amplificador com a inclusão de monitoramento constante dos sinais e das condições ambientais, pois além da potência de entrada e saída temos o monitoramento da temperatura de operação, mantendo o produto em operação através da redução gradual da potência feita de forma automática;
- f) tolerância a erros comuns de instalação, como por exemplo excesso de nível de entrada, impedância incorreta, má ventilação etc.

[025] Um amplificador de potência funciona de forma que um sinal de baixo nível e baixa potência seja amplificado. Assim, na saída deste amplificador temos um sinal com potência muitas vezes maior que o de entrada. É formado pelos seguintes blocos funcionais, representados na Figura 1:

- a) entrada de sinal, onde entram os sinais provenientes de um CD player ou central multimídia, que pode incluir alguns ajustes tais como ganho, filtros passa alta, filtros passa baixa ou equalizações;
- b) fonte de alimentação, que tem a função de elevar a tensão de entrada (normalmente 12V DC de baterias) para um nível maior que permita o fornecimento da potência desejada ao estágio de saída;
- c) estágio de saída, que faz a conversão da energia entregue pela fonte de alimentação em sinal de áudio de alta potência.

[026] O sinal de saída ideal é uma cópia fiel do sinal de entrada, mas amplificado muitas vezes em tensão e com capacidade alta de corrente, obtendo assim alta potência sonora, que por sua vez é entregue à carga, neste caso,

os alto-falantes do sistema.

[027] Ou seja, um amplificador de potência entrega energia a uma carga, controlado por um sinal de entrada de baixa potência. Porém há uma limitação da potência máxima que este consegue entregar à carga ou que consegue converter de potência a partir da fonte de alimentação interna. Normalmente esses limites são fixos e levam ao desarme do amplificador caso sejam ultrapassados (sobrecargas), porém, nem sempre são suficientes para evitar danos ao próprio produto ou às instalações.

[028] Como exemplo, a Figura 3 traz um gráfico que ilustra a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador convencional de 1Ω de impedância de saída, onde a potência máxima somente é atingida nessa impedância. Assim, o rendimento em impedâncias maiores é reduzido e não é permitida a operação em impedâncias menores dado o risco de sobrecarga ou desligamento por atuação das proteções.

[029] A Figura 4 traz um gráfico que exemplifica a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador convencional de 2Ω de impedância de saída, onde a potência máxima somente é atingida nessa impedância. Assim, o rendimento em impedâncias maiores é reduzido e não é permitida a operação em impedâncias menores dado o risco de sobrecarga ou desligamento por atuação das proteções.

[030] A Figura 5 traz um gráfico que exemplifica a relação entre potência máxima e impedância em um amplificador no sistema inovador aqui proposto, onde a potência máxima é atingida em duas impedâncias e é constante nesse intervalo, permitindo que o amplificador ainda opere em impedâncias menores sem riscos de danos por sobrecarga e sem desligamentos indesejados.

[031] Como a impedância da carga tem relação direta com a corrente e com a tensão de saída do amplificador, faz-se necessário que, para uma mesma potência de saída, mas com impedâncias diferentes de alto falantes, tenha-se que escolher entre versões do mesmo produto com voltagem de saída diferentes (próprios para cada impedância).

[032] O sistema da presente inovação soluciona a questão acima, já que a voltagem de saída é controlada de forma dinâmica através da leitura da correntes de entrada e saída e outros parâmetros tal como temperatura, ajustando o amplificador à carga e/ou às condições de operação de forma automática, permitindo então que um único produto atenda uma faixa maior de impedâncias e opere sempre na faixa segura de funcionamento.

[033] O controle da potência de saída é feito por meio do ajuste da voltagem máxima de saída do amplificador, sendo adaptada à condição de operação do momento, e é feito automaticamente, baseado na leitura das informações coletadas de: (i) voltagem de entrada, (ii) corrente de entrada, (iii) voltagem de saída, (iv) corrente de saída, (v) temperatura do dissipador de calor e (vi) proporção do enquadramento do sinal de saída.

[034] O controle dinâmico da voltagem de saída do amplificador pelo sistema aqui proposto, cuja Figura 2 traz a representação esquemática da ligação entre seus componentes, garante que o amplificador opere sempre na faixa de potência que foi projetado em uma faixa maior de impedâncias de saída, de forma segura, reduzindo drasticamente a chance de desarme, mesmo em condições adversas.

[035] Para tanto, realiza-se a medição de amostras dos sinais de tensão de entrada (19), tensão da fonte interna (20) e temperatura do dissipador (21),

por meio de conversão ADC (*Analog to Digital Converter* ou Conversor Analógico para Digital), que transforma os sinais lidos em valores binários próprios para o processamento computacional interno e tratamento das informações, realizada internamente no microcontrolador (10) que é feita juntamente com a análise da informação proveniente do circuito detector de *clipping* (22).

[036] A fonte de alimentação de um amplificador é composta basicamente de um elemento magnético, o transformador (T1), e de chaves eletrônicas representadas (Q1 e Q2) que ficam comutando milhares de vezes por segundo. A comutação dessas chaves cria um campo magnético alternado no transformador (T1), e pelo efeito de indução a energia é transferida entre seus enrolamentos com elevação da voltagem, resultando na tensão secundária +VCC (15).

[037] As chaves eletrônicas (Q1 e Q2) são transistores Mosfet, ou transistores de efeito de campo tipo MOS, que apresentam alta velocidade de comutação e baixas perdas. Entretanto, todo Mosfet possui uma resistência interna extremamente baixa, da ordem de alguns miliohms ($m\Omega$).

[038] A resistência interna do Mosfet da fonte é usada para se determinar a corrente de entrada, já que a passagem da corrente por uma resistência gera uma diferença de potencial entre os terminais “dreno” e “source”, conhecida como VDS – voltagem dreno-source, que existe no estado de “ligado” (ON) do Mosfet.

[039] Essa tensão VDS, lida pelo sensor de corrente da fonte (2), é diretamente proporcional à corrente que flui pelas chaves (Q1 e Q2), desenvolvida no momento do estado ON, e é comparada a uma referência de ten-

são (8) em um comparador de tensão (U1) que é fisicamente ligado ao barramento de controle (9), que informa ao circuito limitador (13) a necessidade de atenuar o sinal que será enviado ao estágio de saída.

[040] A medição de voltagem de saída (3) e *clipping* do sinal é feita por um circuito detector de *clipping* (6) que envia um sinal (22) ao microcontrolador (10) reportando que o sinal de saída atingiu o nível de tensão da fonte interna (15) e passou a sofrer uma distorção ou enquadramento do sinal conhecido como *clipping*, conforme mostrado na Figura 6. A operação do amplificador nessa região de *clipping* é indicado através dos LEDs (16) e, caso o tempo de permanência nessa situação de *clipping* seja excessivo, o modo de controle é ativado pelo microcontrolador (10).

[041] A medição da corrente de saída é feita de forma análoga ao método usado na medição da corrente de entrada, por meio de sensores de corrente (4) que usam a tensão de VDS lida dos Mosfets Q4 e Q6. O estágio de saída é tipo classe D, que é um sistema de conversão de energia feita por meio da modulação da largura de pulso de uma portadora de alta frequência (PWM – *Pulse Width Modulation*), onde temos um arranjo tipo *full-bridge* de Mosfets (Q3, Q4, Q5, Q6) atuando como chaves que controlam a corrente a ser enviada para a carga através da modulação PWM, havendo um filtro LPF (18) que recompõe o sinal de áudio a partir da portadora do PWM. A tensão VDS (11), proporcional à corrente que flui nos Mosfets lida pelos sensores de corrente (4), é comparada a uma referência de tensão REF (12) em um comparador de tensão (U2) fisicamente ligado ao barramento de controle (9), informando ao circuito limitador (13) a necessidade de atenuar o sinal que será enviado ao estágio de saída sempre que os sinais enviados pelos sensores de corrente (4) passarem da referência de limiar

REF definida (12).

[042] A medição de temperatura é feita por um sensor térmico (5), estrategicamente posicionado de forma a medir a temperatura do dissipador de calor do produto, havendo um conversor analógico-digital (ADC) interno ao microcontrolador (10) que faz a leitura e interpretação dos valores (21), assim, este pode atenuar adequadamente o nível do sinal de saída sempre que a temperatura de operação estiver fora dos padrões recomendados.

[043] O barramento de controle (9) faz a interconexão entre os módulos e os blocos do sistema da presente inovação, reunindo os sinais elétricos que definem a atuação do controle de potência.

[044] Um circuito limitador consiste em um limitador (13) ou *limiter* que faz o controle do nível de sinal, modulado pelo barramento de controle (9).

[045] De forma automática, o nível de sinal que vem do estágio de entrada de áudio (23) é processado pelo limitador (13) e varia conforme a estratégia de controle do sistema, com limite do nível máximo de sinal de saída (14) e consequentemente da própria potência entregue à carga se mantendo dinamicamente dentro dos limites preestabelecidos, objetivo claro do sistema inovador aqui proposto.

[046] Em testes de laboratório e em campo, as condições potencialmente destrutivas foram devidamente mapeadas e são tratadas com auxílio de inteligência artificial no *firmware* que roda no microcontrolador (10). Estes algoritmos detectam as condições de operação através da leitura das informações de tensão de entrada (1), tensão de fonte (15), temperatura (5), detecção de clipping do sinal (6) e leitura do status (17) dos estágios de saída Classe D, comunicando-se com o barramento de controle (9).

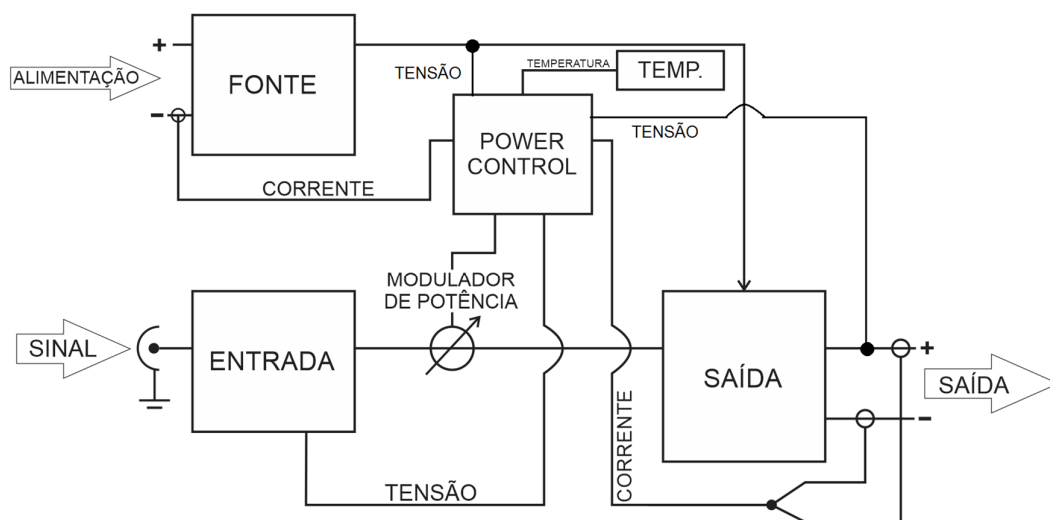
[047] Caso as informações das condições de operação citadas acima indicarem falhas ou comportamento fora do controle do sistema, tais como curto-circuito na carga conectada à saída (14), bateria descarregada ou com voltagem acima do permitido ou temperatura excessiva por falha/obstrução da ventilação, o sistema efetua uma série de tentativas de reestabelecimento de funcionamento. Porém, se a causa da falha persistir, o algoritmo passa a considerar a falha como permanente e o sistema sinaliza a causa da falha por meio de LEDS (16), aguardando a intervenção do usuário.

[048] Em resumo, o sistema proposto faz o controle dinâmico e automático da voltagem de saída do amplificador para que, por meio desta, consiga-se manter a potência de saída dentro do especificado e de forma segura, ajustando o amplificador à carga e/ou as condições de operação de forma automática.

[049] Esta inovação não se limita às representações aqui comentadas ou ilustradas, devendo ser compreendida em seu amplo escopo. Muitas modificações e outras representações do invento virão à mente daquele versado na técnica à qual essa inovação pertence, tendo o benefício do ensinamento apresentado nas descrições anteriores e desenhos anexos. Além disso, é para ser entendido que o invento não está limitado à forma específica revelada, e que modificações e outras formas são entendidas como incluídas dentro do escopo das reivindicações anexas. Embora termos específicos sejam empregados aqui, eles são usados somente de forma genérica e descritiva e não como propósito de limitação.

REIVINDICAÇÕES

1) Sistema eletrônico de controle ativo de potência e gerenciamento eletrônico com microcontrolador, para amplificadores de áudio automotivo **caracterizado por** controlar a voltagem de saída de forma dinâmica utilizando a leitura das correntes de entrada e saída, voltagens de entrada e de saída, temperatura do dissipador de calor e proporção de enquadramento do sinal de saída, dito controle efetuado por um microcontrolador (10) e circuitos analógicos auxiliares, dito microcontrolador (10) sendo dotado de um *firmware* provido de inteligência artificial, cujos algoritmos detectam as condições de operação através da leitura das informações de tensão de entrada (1), tensão de fonte (15), temperatura (5), detecção de *clipping* do sinal (6) e leitura do status (17) dos estágios de saída Classe D, comunicando-se com o barramento de controle (9).

**Figura 1**

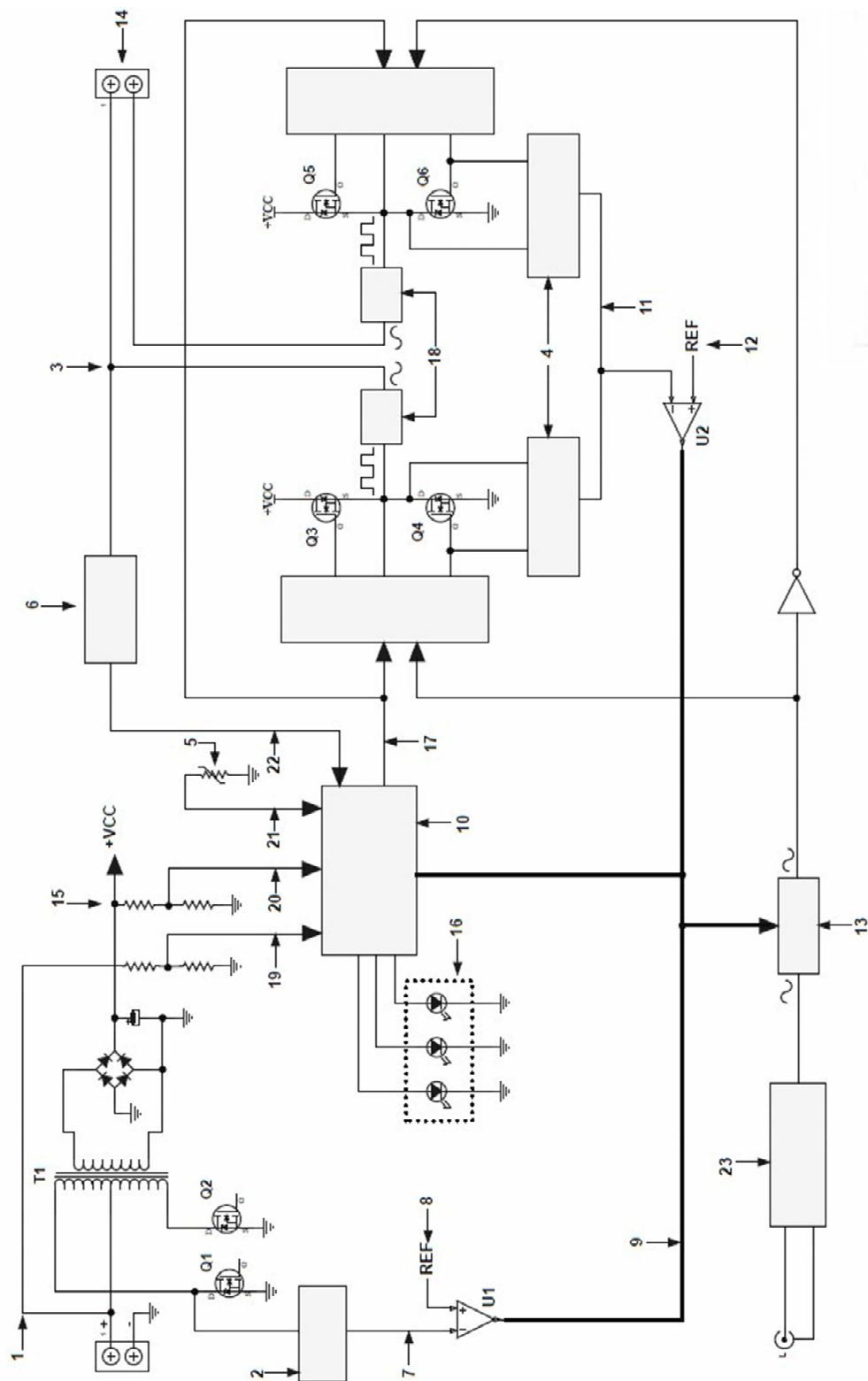


Figura 2

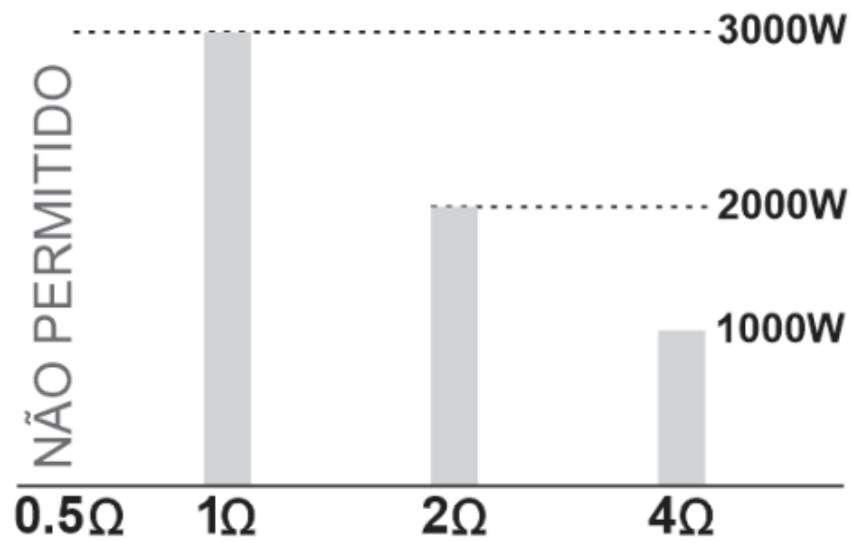


Figura 3

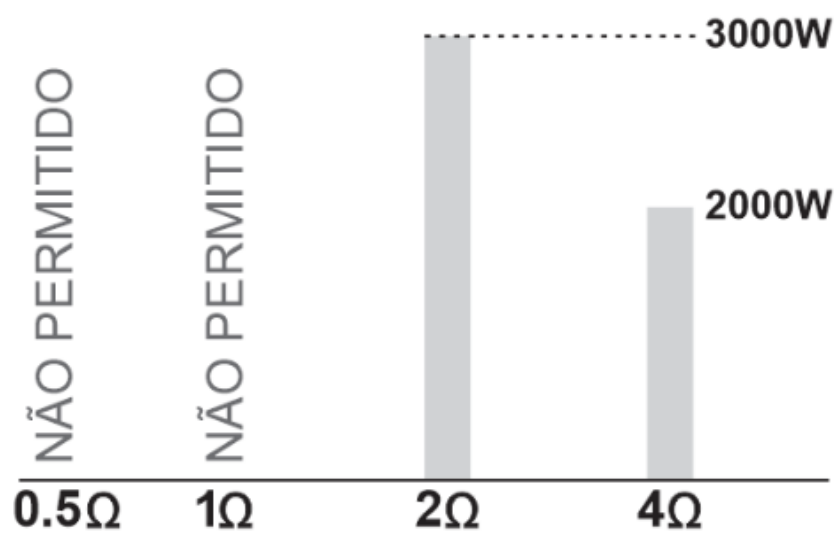


Figura 4

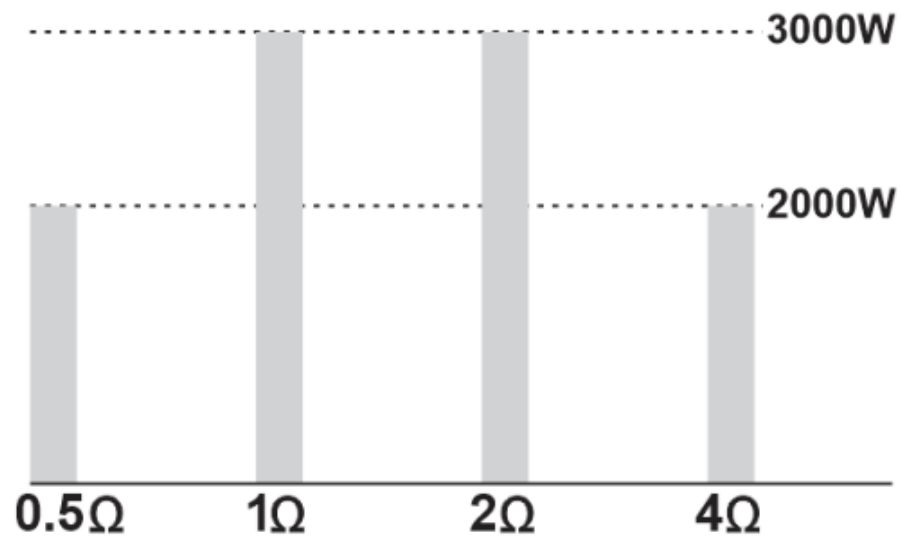


Figura 5

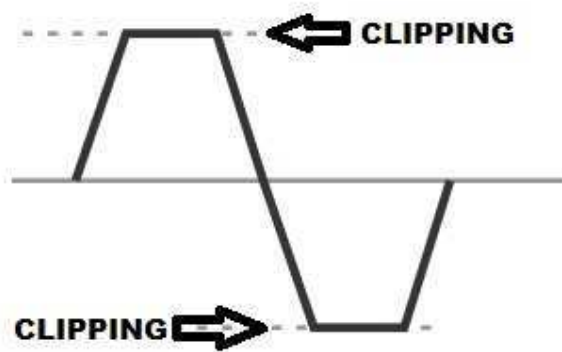


Figura 6

RESUMO

SISTEMA ELETRÔNICO DE CONTROLE ATIVO DE POTÊNCIA PARA AMPLIFICADORES DE ÁUDIO AUTOMOTIVO

A presente inovação trata de um sistema de controle de potência para amplificadores de potência para áudio, em especial no segmento automotivo, controlando a voltagem de saída de forma dinâmica por meio da leitura das correntes de entrada e de saída e de outros parâmetros, ajustando o amplificador à carga e às condições de operação de forma automática, permitindo que o amplificador opere sempre na faixa segura de funcionamento.