



Desenvolvimento de um Circuito de Alimentação para Drones com Hot Swap e Mitigação de Corrente de Inrush

Felipe Alves da Silveira | felipe.ads@aluno.ifsc.edu.br¹

Luiz Carlos Baron | luiz.baron@ifsc.edu.br²

Gabriel da Silva Oliveira | gabriel.so2001@aluno.ifsc.edu.br³

Douglas Schüller | dougschuler@hotmail.com⁴

Christopher Costa | christopher.c1@aluno.ifsc.edu.br⁵

Leandro de Medeiros Sebastião | leandro.medeiros@ifsc.edu.br⁶

Edital de fomento do trabalho FEESC Nº 002/2024 PROGRAMA CONEXÕES PARA INOVAR
Trabalho de Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Drones estão cada vez mais presentes em diversos setores da economia, mas o sistema de alimentação dos drones apresentam limitações, especialmente em aplicações fora de produção em larga escala, onde é incomum se utilizar circuitos dedicados para controle de energização, mitigação de corrente de inrush e substituição de baterias sem desligamento do drone. Com base nisso, esse trabalho tem como objetivo estudar e validar um circuito eletrônico capaz de evitar o faiscamento no conector de alimentação, permitir o acionamento e desligamento do sistema sem desconexão física e possibilitar o *hot swap* de baterias com níveis de tensão diferentes. A metodologia baseou-se na análise teórica dos fundamentos de eletrônica de potência e analógica, juntamente a testes experimentais, simulação e prototipagem em protoboard. O circuito se utiliza de MOSFETs para reduzir o faiscamento durante a conexão da bateria. Os resultados obtidos atenderam os objetivos propostos, reduzindo o faiscamento e permitindo o controle da alimentação e a troca de baterias sem interrupção do sistema. No entanto, notou-se que, em aplicações de maior potência, o circuito apresenta limitações relacionadas ao aumento do volume físico e à necessidade de dissipação térmica mais robusta.

Palavras-chave: drone; eletrônica; *hot-swap*; acionamento; faiscamento.

Introdução

Os problemas citados são reais e afetam diretamente empresas, hobbistas e equipes de competição na área de drones. O faiscamento durante a conexão da bateria

¹ Felipe Alves da Silveira, egresso do curso de Engenharia Elétrica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

² Servidor docente do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do IFSC - Câmpus Florianópolis.

³ Gabriel da Silva Oliveira, egresso do curso de Engenharia Elétrica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

⁴ Douglas Schüller, egresso do curso de Engenharia Elétrica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

⁵ Christopher Costa, egresso do curso de Engenharia Eletrônica do IFSC-Câmpus Florianópolis..

⁶ Servidor docente do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do IFSC - Câmpus Florianópolis.

ao sistema de alimentação ocorre devido ao carregamento abrupto dos capacitores, resultando na formação de um arco de plasma causado pela alta corrente instantânea.

Esse arco provoca a carbonização dos contatos do conector, comprometendo a qualidade do contato elétrico e reduzindo sua vida útil. Na Figura 1, observa-se a direita um conector XT-60 novo e no lado esquerdo um degradado após uso recorrente.

Figura 1 - Carbonização de um conector XT-60



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

O problema se intensifica com o aumento da tensão das baterias, sendo mais crítico em aplicações profissionais, onde há maior frequência de uso. Uma solução comum é o uso de conectores com resistores de pré-carga, que reduzem a corrente inicial. No entanto, esses resistores sofrem desgaste e precisam ser substituídos, o que pode gerar atrasos operacionais.

Em competições, onde o tempo é crítico, a necessidade de desenergizar o sistema para trocar baterias representa uma desvantagem, tanto pelo tempo de reinicialização quanto pela reconexão com a estação de solo. Além disso, não é viável conectar baterias com diferentes tensões em paralelo, pois isso pode gerar correntes elevadas e danos aos componentes.

A conexão e desconexão frequente das baterias também impacta a praticidade, já que os conectores utilizados nem sempre são ergonômicos. Dessa forma, soluções que aumentem a facilidade de uso sem adicionar grande complexidade são desejáveis.

Diante disso, este trabalho propõe o desenvolvimento e a validação de um protótipo capaz de mitigar esses problemas, integrando pesquisa, desenvolvimento e aprendizado, em consonância com o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

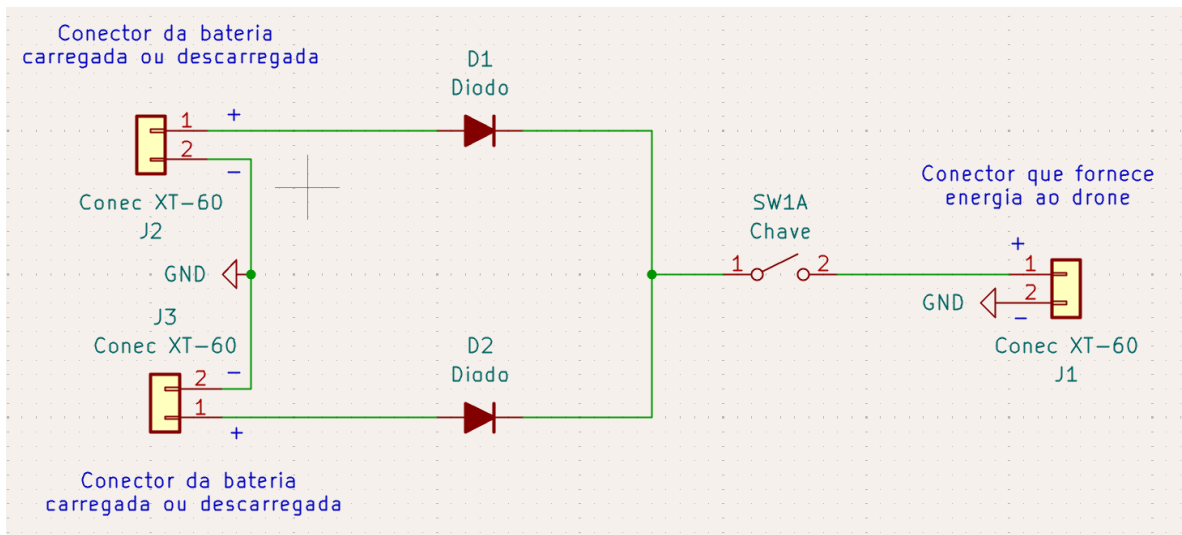
Fundamentação teórica

No início do desenvolvimento do protótipo, foram definidos critérios para garantir sua viabilidade, estabelecendo que o sistema deveria ser confiável, escalável em potência e não apresentar peso ou volume que impactassem significativamente no desempenho do drone.

Inicialmente, buscou-se na literatura soluções que atendessem aos problemas identificados, porém não foram encontrados circuitos que contemplassem simultaneamente todos os requisitos. Assim, optou-se pelo desenvolvimento de um protótipo baseado nos fundamentos da eletrônica analógica e de potência.

Como ponto de partida, foi elaborado um circuito esquemático simplificado para representar as funções desejadas. A Figura 2 apresenta um circuito base com dois diodos, responsáveis pelo hot swap entre baterias, e uma chave mecânica para controle da alimentação.

Figura 2 - Circuito base



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Esse arranjo apresentou limitações relevantes: os diodos exigem dissipação térmica elevada para suportar as correntes envolvidas, mesmo em drones de pequeno porte, enquanto a chave mecânica estaria sujeita à carbonização devido ao faiscamento.

Diante disso, a chave mecânica foi substituída por MOSFETs, que atuam como chaves eletrônicas controladas por tensão, eliminando contatos mecânicos e reduzindo

assim o faiscamento. Além disso, os MOSFETs podem operar na região linear como elemento de pré-carga e ser associados em paralelo para aumentar a capacidade de corrente, mantendo a escalabilidade. Assim, o controle da alimentação passa a ser feito por um sinal de baixa potência.

Na sequência, os diodos também foram substituídos. Sendo sua função selecionar a bateria com maior tensão e essa função pode ser implementada com MOSFETs por meio de chaveamento controlado, evitando condução simultânea e correntes elevadas entre baterias. Como a comutação desses dispositivos é muito rápida, é esperado que a transição da fonte de alimentação não cause o desligamento dos sistemas eletrônicos.

Durante o desenvolvimento, diversas configurações foram testadas para integrar as funções necessárias em um único circuito, isso acabou provendo a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos na graduação e a integração entre teoria e prática.

A fundamentação teórica baseia-se em obras clássicas da área, como Eletrônica de Potência, Barbi (2005), e Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, Boylestad e Nashelsky (2013). As demandas e restrições do projeto foram definidas em conjunto com o Laboratório de Drones do IFSC, contribuindo para a adequação prática da solução proposta.

Procedimentos metodológicos

A primeira etapa deste projeto consistiu na realização de conversas com os professores do Laboratório de Drones do IFSC, que apresentaram as principais problemáticas existentes a serem solucionadas. Dentre essas, foram selecionados três problemas principais para desenvolvimento neste trabalho. Em seguida, foi realizada uma nova conversa com o objetivo de definir os critérios que o protótipo deveria atender para ser viável de aplicação em um drone. A partir dessas definições, deu-se início ao desenvolvimento do trabalho.

A abordagem adotada para o desenvolvimento do protótipo foi a divisão em etapas, primeiramente foram projetados circuitos capazes de resolver individualmente cada um dos problemas. Essa estratégia permitiu analisar diferentes formas de solução para cada um dos problemas, possibilitando se ter diversas alternativas de circuitos que, posteriormente, poderiam ser integradas ao protótipo final. Para validação dessas

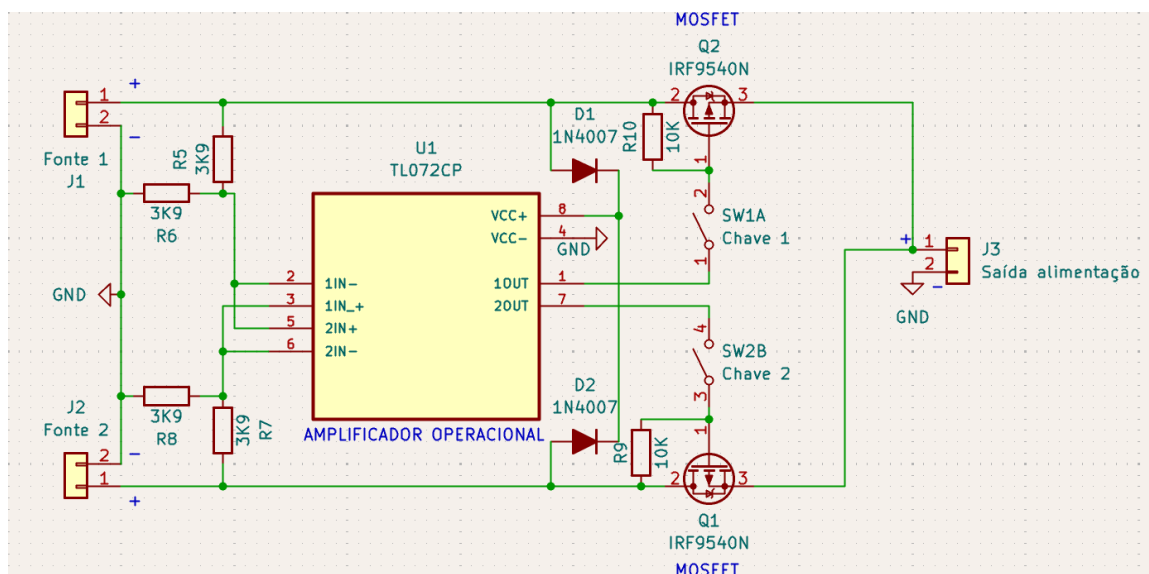
soluções, foram realizados cálculos teóricos, simulações e, por fim, testes experimentais em bancada.

O protótipo foi concebido com foco em baixo custo. Dessa forma, optou-se por evitar o uso de microprocessadores e de componentes com custo elevado. Como se trata de um teste de conceito, não foi realizado o dimensionamento completo para operação em alta potência. Além disso, buscou-se, sempre que possível, utilizar componentes já disponíveis no Laboratório de Drones do IFSC.

Resultados e discussões

Até o presente momento deste trabalho, o circuito do protótipo funciona da seguinte forma: duas fontes de alimentação independentes, com níveis de tensão diferentes, são conectadas ao sistema, sendo uma em J1 e outra em J2, conforme apresentado na Figura 3. O amplificador operacional TL072CP é utilizado para comparar os níveis de tensão dessas duas fontes.

Figura 3 - Circuito do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

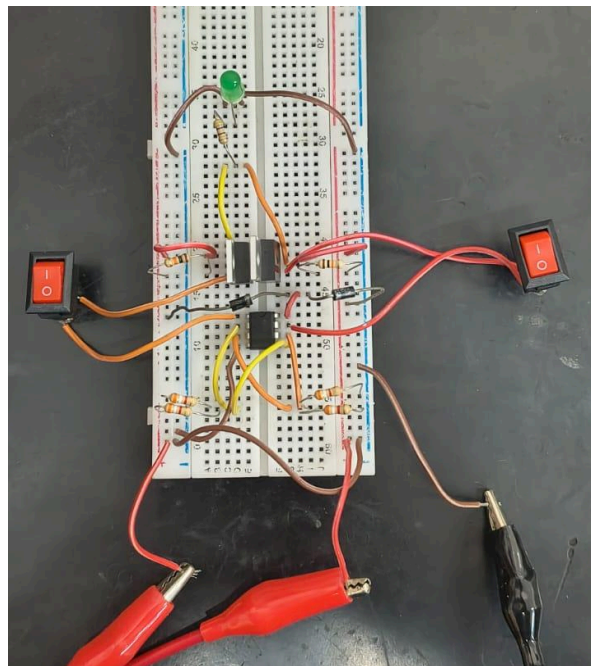
A partir dessa comparação, o amplificador gera sinais de saída nos pinos 1OUT e 2OUT, que são utilizados para controlar os MOSFETs Q1 e Q2, determinando se cada um irá conduzir ou não.

O MOSFET deixa de conduzir em duas situações: quando o TL072CP aplica um nível alto de tensão ao seu terminal de controle (gate), ou quando o operador abre uma das chaves, fazendo com que a tensão da respectiva fonte seja aplicada ao gate, forçando o desligamento daquele canal. Para conduzir, é necessário que a chave esteja fechada e o nível de tensão no gate esteja próximo ao do GND.

Com essa lógica, o TL072CP envia um nível alto de tensão para o MOSFET associado à fonte de menor tensão, bloqueando sua condução, e um nível baixo para o MOSFET da fonte com maior tensão, permitindo que essa fonte alimente o circuito.

Para a realização dos testes, o circuito foi montado em uma placa protoboard, como pode ser observado na Figura 4. Esse protótipo serviu para a obtenção de resultados.

Figura 4 - Protótipo montado na *protoboard*



Fonte: elaborado pelo autor (2026)

Com os resultados dos testes se verificou que o sistema de *hot swap* atuou de forma rápida, permitindo a troca da fonte de alimentação sem que o circuito fosse desenergizado e sem a ocorrência de curto circuito entre as fontes. Também foi possível confirmar o funcionamento do sistema de controle da alimentação, que ao longo do desenvolvimento foi definido que cada canal deveria possuir acionamento independente.

Além disso, o sistema anti-faiscamento apresentou funcionamento adequado. No entanto, nesta etapa não foi possível fazer com que o MOSFET atuasse como resistor de pré-carga. Esse problema foi atribuído a uma incompatibilidade entre o circuito de pré-carga e o sistema de *hot swap*. Dessa forma, optou-se por deixar a implementação da pré-carga para uma etapa futura do projeto.

Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que o projeto atendeu aos objetivos propostos, ao solucionar os três problemas relacionados aos conectores de alimentação de drones. No entanto, o trabalho ainda está em estágio inicial, sendo necessário resolver a incompatibilidade com o circuito de pré-carga, realizar o dimensionamento para maiores potências e desenvolver a PCB.

Como esperado, o circuito pode sofrer alterações nas próximas etapas, especialmente em aplicações de maior potência, onde o uso de mais MOSFETs pode aumentar o custo. Nesse contexto, considera-se o desenvolvimento futuro de uma versão com *hot swap* parcial para uso em solo.

Na etapa final, prevê-se a realização de testes práticos em drones do Laboratório de Drones do IFSC, visando avaliar a confiabilidade e a eficiência do sistema.

O trabalho contribuiu para a formação profissional dos envolvidos ao aplicar conhecimentos de eletrônica e evidenciar desafios reais de engenharia. Por fim, destaca-se o alinhamento com o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, ao integrar teoria, prática e aplicação em um contexto real.



Referência ao fomento recebido

Esse trabalho foi possível graças ao apoio recebido através do EDITAL DE CHAMAMENTO PÚBLICO FEESC Nº 002/2024 PROGRAMA CONEXÕES PARA INOVAR, qual fomentou o Laboratório de Drones do IFSC, local onde foi desenvolvido esse trabalho. Além do edital é feito um agradecimento especial ao próprio Laboratório de Drones do IFSC que cedeu material e espaço para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

BARBI, Ivo. **Eletrônica de potência**. Florianópolis: Edição do Autor, 2005.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.