



PROJETO DE UM CIRCUITO DE DETECÇÃO DE QUEDA DE REDE E COMUTAÇÃO AUTOMÁTICA PARA SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA (UPS)

Beatriz Akemi Pedreira Takemori¹, Isabel Claudia Mathias², Alicia Michalkiewicz³
Alberto Vinicius de Oliveira⁴

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo-PR, Brasil
(beatrizakemi@alunos.utfpr.edu.br)

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo-PR, Brasil

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo-PR, Brasil

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo-PR, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito detector de queda de rede para um sistema de alimentação ininterrupta (UPS). O sistema foi projetado para detectar falhas na rede elétrica e realizar a comutação automática da alimentação da carga para outra fonte de energia. Para isso, utiliza-se um optoacoplador H11AA1, responsável pela detecção com isolamento galvânico, e um relé para a comutação da carga. O circuito e a placa de circuito impresso (PCB) foram simulados com êxito.

Palavras-chave: Detecção; Optoacoplador; Comutação; UPS; LTspice

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas eletrônicos em aplicações industriais, comerciais e de serviços essenciais tornou a continuidade do fornecimento de energia elétrica um requisito indispensável para a operação segura desses equipamentos (Oliveira, 2020). Interrupções na rede elétrica podem ocasionar perdas de dados, paralisação de processos, danificamento de equipamentos sensíveis e prejuízos econômicos, tornando importante o uso de sistemas capazes de manter o fornecimento de energia durante falhas da rede. Os sistemas de alimentação ininterrupta (Uninterruptible Power Supplies – UPS) constituem uma das principais soluções utilizadas para garantir a continuidade do funcionamento de cargas críticas.

Além da importância tecnológica, o desenvolvimento desses sistemas está alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9 (ODS 9), estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), que incentiva o desenvolvimento de infraestruturas resilientes, a inovação tecnológica e a modernização industrial (Organização das Nações Unidas, 2015). Do ponto de vista da Eletrônica de Potência, a implementação de um sistema UPS envolve diferentes estágios de conversão, incluindo conversores CC-CC, inversores CC-CA, circuitos de acionamento de dispositivos semicondutores e de filtragem.

O objetivo deste trabalho é desenvolver e dimensionar um sistema que identifique a falha na rede e realize a comutação da carga para outra fonte de alimentação disponível, assim como o *design* de

uma placa de circuito impresso para o sistema desenvolvido, para viabilizar a utilização futura em práticas de ensino de Engenharia Eletrônica.

Os resultados obtidos serão apresentados por meio de simulações no *software* LTspice, para analisar o desempenho do circuito, além da apresentação do projeto da placa de circuito impresso (PCB).

MATERIAL E MÉTODOS

O circuito de detecção e comutação automática utiliza o optoacoplador H11AA1 para monitorar a rede elétrica, com tensão eficaz de 127V e frequência de 60Hz, e proporcionar isolamento galvânico ao sistema (Vishay Semiconductors, 2023). Devido à presença de LEDs internos conectados em antiparalelo, o dispositivo detecta ambos os semiciclos da corrente alternada sem necessidade de retificação adicional (Vishay Semiconductors, 2023).

Na presença de tensão na rede, os LEDs internos emitem luz infravermelha e acionam o fototransistor, que opera em saturação, quando a tensão coletor-emissor assume o valor de saturação ($V_{CE} = V_{CEsat}$) (Cruz e Choueri Junior, 2008). Na ausência de fornecimento de energia elétrica da rede ou em caso de interrupção do fornecimento, os LEDs deixam de emitir luz, o fototransistor entra em corte e passa a operar como chave aberta (Cruz e Choueri Junior, 2008).

A Figura 1 apresenta a estrutura interna do optoacoplador H11AA1.

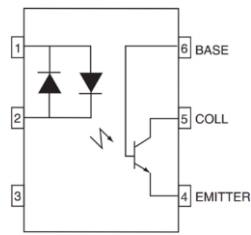


Figura 1. Optoacoplador H11AA1.

Portanto, o circuito de monitoramento da rede e comutação automática interpreta o nível lógico fornecido pelo optoacoplador para controlar a transferência da alimentação da carga. Para limitar a corrente direta de pico (I_F) nos LEDs emissores infravermelhos internos, em função da tensão de pico da rede senoidal (V_{SP}), projeta-se uma associação em série de dois resistores, R_{1opto} e R_{2opto} . A resistência equivalente é determinada por:

$$R_{1opto} + R_{2opto} = \frac{V_{SP} - V_F}{I_F} \quad (1)$$

em que V_F representa a queda de tensão direta típica nos diodos emissores.

A potência dissipada nessa malha resistiva é estimada a partir da tensão eficaz da rede alternada (V_S) e da resistência equivalente calculada. A corrente de pico (I_P) é obtida por meio da manipulação da Equação 1:

$$I_{peak} = \frac{V_{SP} - V_F}{R_{1opto} + R_{2opto}} \quad (2)$$

Como a rede elétrica opera em corrente alternada de 60 Hz, os LEDs internos permanecem desligados durante breves intervalos próximos ao cruzamento por zero da senoide, produzindo pulsos de tensão no fototransistor a cada semiciclo (120 Hz), fenômeno conhecido como zero-crossing.

Para reduzir essa pulsação e evitar instabilidades durante o chaveamento da carga, projeta-se um filtro RC passivo em paralelo (R_{filtro} e C_{filtro}). A constante de tempo (τ) é dada por:

$$\tau = R_{filtro} C_{filtro} \quad (3)$$

Esse parâmetro deve ser dimensionado para manter o nível de tensão contínua nos terminais de controle durante os intervalos de zero-crossing.

Entretanto, como o filtro apenas atenua os pulsos, adiciona-se um transistor bipolar de junção (TBJ), modelo BC547B, operando como chave eletrônica para acionar ou desacionar a bobina do relé, alimentada por um regulador linear LM7812, responsável por regular a tensão de uma bateria de 15 V para 12 V. Esse relé eletromecânico bipolar de duas posições (DPDT), com bobina de 12 V, é utilizado para assegurar uma comutação estável da alimentação da carga. Por fim, um diodo de roda livre 1N4007 é conectado em paralelo com a bobina

para absorver as tensões reversas geradas pela autoindução durante o desligamento, protegendo o transistor auxiliar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para simular o circuito de detecção de queda de rede no LTspice, a rede elétrica foi representada por uma fonte senoidal de 127 Vrms (180 Vpico), a 60 Hz. A interrupção da alimentação foi simulada por meio de um par de chaves controladas por tensão (S3 e S4) e fontes de pulso (V6 e V7). A fonte V6 abre a chave S3 no instante da falha, desconectando a rede, enquanto V7 fecha a chave S4, aterrando o nó de entrada. Esse procedimento garante tensão nula na entrada do sensor, evitando que o nó permaneça flutuante.

Para limitar a corrente nos LEDs internos do H11AA1 em aproximadamente 10 mA, conforme a Equação 2, foi utilizada uma resistência equivalente de 17,5 k Ω , obtida pela associação em série de R_{1opto} (10 k Ω) e R_{2opto} (7,5 k Ω). A estabilização do sinal de saída do optoacoplador, sujeito a pulsos durante os cruzamentos por zero da rede, foi realizada por um filtro RC composto por R_{filtro} (30 k Ω), que proporciona baixos valores de corrente de coletor ($I_C = 0,5$ mA) e tensão de saturação ($V_{CEsat} = 0,3$ V). O capacitor C_{filtro} (220 nF) foi dimensionado para obter uma constante de tempo de 3,5 ms, conforme a Equação 3, valor suficiente para manter o transistor Q1 (BC547B) saturado durante os intervalos de zero-crossing. Dessa forma, enquanto houver tensão na rede, Q1 permanece saturado, energizando o relé. Na ausência da rede, o capacitor descarrega, levando o transistor ao corte e desenergizando o relé.

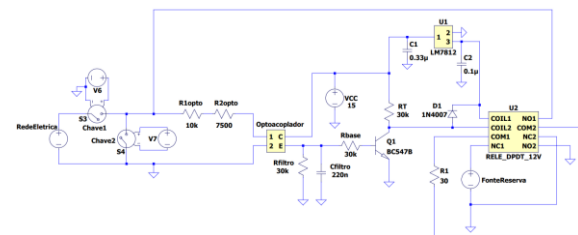


Figura 2. Circuito completo do estágio de detecção de queda de rede e comutação.

O relé é alimentado pela tensão regulada de 12 V fornecida pelo LM7812, conforme apresentado na Figura 2. Os capacitores C1 (0,33 μ F) e C2 (0,1 μ F) atuam como capacitores de desacoplamento (bypass), garantindo a estabilidade do regulador e reduzindo ruídos na alimentação.

Na etapa final, o relé realiza a comutação entre a rede elétrica e a fonte V1, que representa a alimentação reserva. A Figura 3 apresenta, no gráfico superior, a tensão de entrada do optoacoplador e, no inferior, as formas de onda da tensão coletor-emissor (V_{CE}) em

vermelho e da tensão de base (V_B) do transistor Q1 em amarelo. Observa-se que a tensão na saída do transistor varia de forma complementar à presença da rede elétrica, comportamento compatível com o funcionamento esperado do circuito.

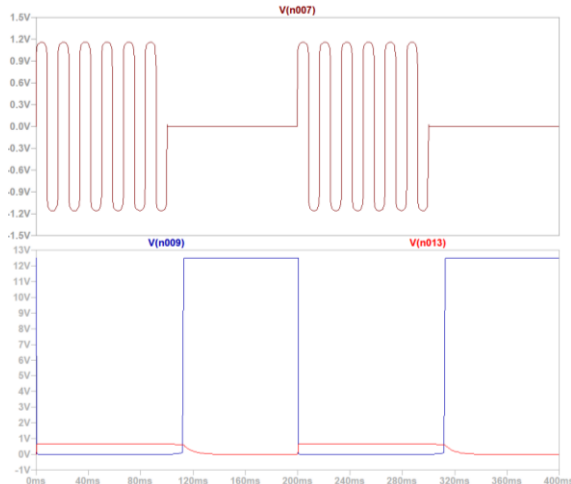


Figura 3. Formas de onda na entrada e saída do optoacoplador com filtro RC e transistor auxiliar.

Assim, de acordo com a Figura 3, a lógica de funcionamento do sistema baseia-se no acionamento do relé ao energizar a bobina, quando o transistor Q1 está em condução, conectando a carga diretamente à rede elétrica. De forma complementar, o relé é desacionado e a bobina é desenergizada quando o transistor Q1 entra em corte, indicando que houve falha na rede e comutando a carga para outra fonte de energia.

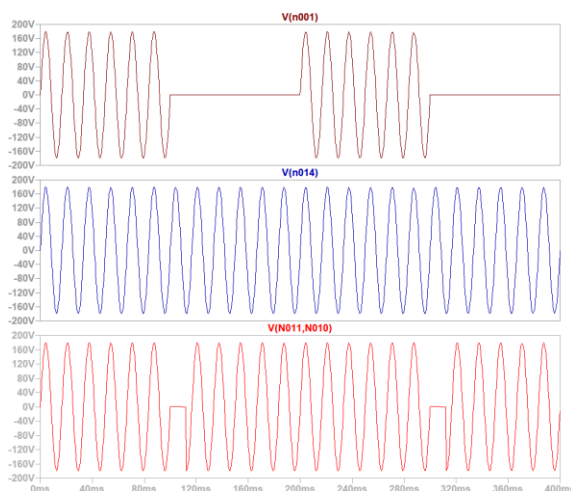


Figura 4. Curvas de tensão da rede elétrica e tensão entregue à carga.

A Figura 4 mostra que, após a interrupção da tensão da rede (gráfico superior), a tensão aplicada à carga (gráfico inferior) não passa imediatamente a assumir a forma de onda proveniente da fonte reserva em vermelho. Durante um curto intervalo, a tensão na carga permanece nula, devido à constante de tempo

do filtro RC e ao tempo de resposta mecânico do relé. Em seguida, a tensão alternada é restabelecida, indicando o fechamento do contato do relé e a conexão da carga à fonte substituta.

Embora exista esse atraso na comutação, o tempo total de transição é reduzido e não compromete o funcionamento de cargas críticas.

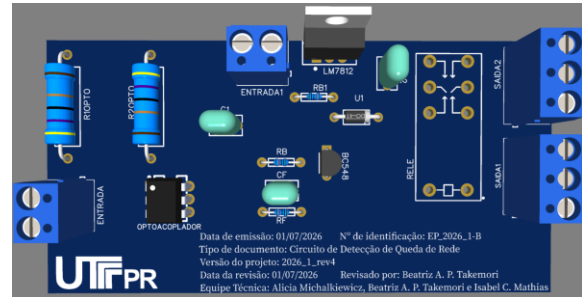


Figura 5. Visualização tridimensional da placa de circuito impresso (PCB) do circuito.

Após a validação do circuito por meio de simulação, foi desenvolvido o *layout* da PCB, conforme apresentado na Figura 5. O projeto foi elaborado considerando a disposição adequada dos componentes, a organização das trilhas e a separação entre os estágios de entrada, detecção e comutação, buscando reduzir interferências e facilitar a montagem do circuito. Além disso, foram utilizados planos de cobre para o potencial de referência (GND).

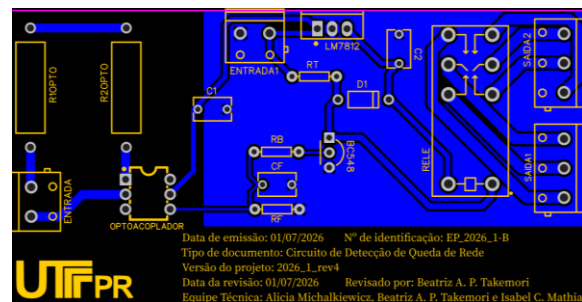


Figura 6. Layout da placa de circuito impresso (PCB).

O roteamento da PCB foi realizado preservando as distâncias de isolamento entre os circuitos de potência e de controle. A placa também contempla conectores para entrada da rede, alimentação auxiliar e saídas de comutação, permitindo sua futura integração aos demais estágios do sistema UPS.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos em simulação confirmaram o funcionamento esperado do circuito, evidenciando a correta detecção da ausência da rede e a atuação do sistema de comutação. Embora tenha sido observado um pequeno atraso na transferência da carga, decorrente da constante de tempo do filtro RC e do



tempo de resposta do relé, esse intervalo mostrou-se compatível com a aplicação proposta, não comprometendo o fornecimento de energia para cargas críticas.

Dessa forma, conclui-se que o estágio desenvolvido atende aos objetivos propostos, constituindo uma solução simples, de baixo custo e confiável para a detecção de falhas na rede elétrica em sistemas UPS. Além disso, o projeto da PCB demonstra a viabilidade de implementação física do circuito desenvolvido, representando uma etapa importante para a validação experimental do sistema.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação prática do circuito em placa de circuito impresso (PCB) e sua integração aos demais estágios do *nobreak*, possibilitando a validação experimental do sistema completo.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao professor orientador pela orientação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANALOG DEVICES. *LTspice*. Wilmington: Analog Devices, [2026]. Disponível em: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>. Acesso em: 02 jul. 2026.
- CRUZ, Eduardo Cesar Alves; CHOUERI JUNIOR, Salomão. *Eletrônica Aplicada*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.
- EASYEDA. EasyEDA: Online PCB design & circuit simulator. Disponível em: <https://easyeda.com/>. Acesso em: 2 jul. 2026
- OLIVEIRA, Francisco José Arteiro de (org.). *O planejamento da operação energética no sistema: conceitos, modelagem matemática, previsão de geração e carga*. São Paulo: Artliber, 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 02 jul. 2026.
- VISHAY SEMICONDUCTORS. *H11AA1, H11AA2, H11AA3, H11AA4: Optocoupler, Phototransistor Output, AC Input, With Base Connection*. Malvern, PA: Vishay Semiconductors, 2023. Documento técnico n. 83608. Disponível em: <https://www.vishay.com/en/product/83608/>. Acesso em: 02 jul. 2026.