

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANGELO KOITI HASHIZUME URAKAMI**

**IMPLEMENTAÇÃO DE CHAVES DE ESTADO SÓLIDO EM CONJUNTO COM  
CHAVES ELETROMECAÑICAS PARA ACIONAMENTO DE CARGAS**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**ANGELO KOITI HASHIZUME URAKAMI**

**IMPLEMENTAÇÃO DE CHAVES DE ESTADO SÓLIDO EM CONJUNTO COM  
CHAVES ELETROMECÂNICAS PARA ACIONAMENTO DE CARGAS**

**Implementation of solid-state switches in conjunction with electromechanical  
switches for starting loads**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Eloi Agostini Junior.

**PONTA GROSSA**

**2023**

**ANGELO KOITI HASHIZUME URAKAMI**

**IMPLEMENTAÇÃO DE CHAVES DE ESTADO SÓLIDO EM CONJUNTO COM  
CHAVES ELETROMECÂNICAS PARA ACIONAMENTO DE CARGAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29/novembro/2023

---

Eloi Agostini Junior  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Julio Cesar Raycik  
Mestrado  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Virgínia Helena Varotto Baroncini  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2023**

## RESUMO

URAKAMI, Angelo Koiti Hashizume. **Implementação de chaves de estado sólido em conjunto com chaves eletromecânicas para acionamento de cargas**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2023.

Este trabalho apresenta a concepção de um relé híbrido para partida de motores de indução trifásicos. Inicia-se realizando uma revisão de literatura, abordando os principais pontos do projeto a serem definidos, como tipo de partida, chaves de estado sólido e os tipos de acionamentos disponíveis na literatura e documentação técnica, para os principais tipos de chaves de estado sólido com foco em compactação e confiabilidade. O trabalho tem um foco maior no acionamento da chave de estado sólido em si para esse contexto. O desenvolvimento do relé híbrido descreve suas características, demais aplicações e vantagens de utilização, além de uma breve abordagem matemática em relação aos métodos de acionamento da chave de estado sólido que atendem ao escopo do trabalho. Uma nova abordagem é desenvolvida para acionamento da chave de estado sólido utilizando um transformador de pulso em corrente alternada. Visto a necessidade de compactação do circuito, essa nova abordagem permite o melhor aproveitamento da magnetização do transformador de pulso evitando a saturação do núcleo, assim acarretando em uma redução de volume e custo. Posteriormente, realiza-se a implementação prática e testes para garantir o funcionamento do circuito e analisar suas características de ondas.

Palavras-chave: chave de estado sólido; acionamento de tiristores; eletrônica de potência.

Indique abaixo a sua opção.

Autorizo a disponibilização do seguinte correio eletrônico para contato:

[angelokoiti@gmail.com](mailto:angelokoiti@gmail.com)

## ABSTRACT

URAKAMI, Angelo Koiti Hashizume. **Implementation of solid-state switches in conjunction with electromechanical switches for starting loads**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2023. Título original: Implementação de chaves de estado sólido em conjunto com chaves eletromecânicas para acionamento de cargas.

This study introduces the design of a hybrid relay for the start-up of three-phase induction motors. It begins with a literature review addressing the key project aspects to be defined, such as the type of start-up, solid-state switches, and the types of drives available in the literature and technical documentation, focusing on the main types of solid-state switches with an emphasis on compactness and reliability. The paper mainly concentrates on the actuation of the solid-state switch itself in this context. The development of the hybrid relay describes its characteristics, additional applications, and advantages, including a brief mathematical approach to the actuation methods of the solid-state switch that fall within the scope of the study. A novel approach is developed for the actuation of the solid-state switch using an alternating current pulse transformer. Considering the need for circuit compactness, this new method allows for better utilization of the pulse transformer's magnetization by avoiding core saturation, leading to a reduction in volume and cost. Subsequently, practical implementation and tests are carried out to ensure the circuit's operation and to analyze its wave characteristics.

Keywords: solid-state switch; thyristor actuation; power electronics.