Esta dissertação apresenta a modelagem, suas não-linearidades e o controle do motor síncrono de relutância assistido por ímãs permanentes, (*Permanent Magnet assisted Synchronous Reluctance Motor* – PMaSYNRM). Esse controle utiliza como princípio para a região de torque constante, o controle de Máximo Torque por Ampere (MTPA), utilizando a representação da corrente em coordenadas polares, para simplificar as equações de otimização. E na região de enfraquecimento de campo, é limitada a tensão em seu terminal, levando em consideração as limitações do motor e do acionamento para estender a região de potência constante e sua máxima velocidade. Em todas as etapas de desenvolvimento para obtenção do modelo do motor, a discretização do controle, os ajustes dos reguladores e as técnicas de modulação da tensão foram simuladas e ensaiadas experimentalmente.

Orientador: Ademir Nied

Joinville, 2019

ANO
2019

BRUNO JOSÉ LIBERATTI |MODELAGEM E CONTROLE DE MOTOR SÍNCRONO DE RELUTÂNCIA ASSISTIDO POR ÍMAS PERMANENTES DESTINADO À TRAÇÃO ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MODELAGEM E CONTROLE DE MOTOR SÍNCRONO DE RELUTÂNCIA ASSISTIDO POR ÍMAS PERMANENTES DESTINADO À TRAÇÃO ELÉTRICA

BRUNO JOSÉ LIBERATTI

JOINVILLE, 2019

BRUNO JOSÉ LIBERATTI

MODELAGEM E CONTROLE DE MOTOR SÍNCRONO DE RELUTÂNCIA ASSISTIDO POR ÍMÃS PERMANENTES DESTINADO À TRAÇÃO ELÉTRICA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica, no Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Ademir Nied

JOINVILLE – SC
2019

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da

Biblioteca Setorial do CCT/UDESC,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Liberatti, Bruno José
Modelagem e Controle de Motor Síncrono de Relutância assistido por Ímãs Permanentes destinado à Tração Elétrica / Bruno José Liberatti. -- 2019.
163 p.

Orientador: Ademir Nied
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Joinville, 2019.

1. PMaSYRM. 2. MTPA. 3. MTPV. 4. Máquinas Síncronas. 5. Modelagem. I. Nied, Ademir. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Modelagem e Controle de Motor Síncrono de Relutância Assistido por Ímãs Permanentes Destinado à Tração Elétrica

por

Bruno José Liberatti

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Área de concentração em "Sistemas Eletroeletônicos"
e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ademir Nied
CCT/UDESC (Orientador/Presidente)

Prof. Dr. José de Oliveira
CCT/UDESC

Prof. Dr. Rodrigo Trentini Preuss
IFSC Jaraguá do Sul

Joinville,SC, 28 de fevereiro de 2019.

Dedico este trabalho aos meus pais, minha família e especialmente minha esposa Isabelle.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o sucesso que tive em minha trajetória de vida e suporte. E a minha querida e amada esposa Isabelle Chuika Liberatti, por auxiliar em todos os momentos, desde os bons aos turbulentos.

Dedico também ao professor Dr. Ademir Nied, pela orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

“Quem nunca cometeu um erro, nunca tentou algo novo.”

Albert Einstein

RESUMO

A utilização de motores síncronos de ímãs permanentes destinados à tração elétrica vem sofrendo um elevado crescimento devido a suas inúmeras vantagens, como eficiência e elevadas velocidades. Entretanto, devido a dependência de materiais raros na confecção destes ímãs e o seu monopólio de mercado, houve a necessidade de investir em novas tecnologias, que minimizassem ou eliminassem a utilização de ímãs permanentes. Com esse enfoque, esta dissertação apresenta a modelagem, suas não-linearidades e o controle do motor síncrono de relutância assistido por ímãs permanentes, (*Permanent Magnet assisted Synchronous Reluctance Motor* – PMaSYNRM). Esse controle utiliza como princípio para a região de torque constante, o controle de Máximo Torque por Ampere (MTPA), utilizando a representação da corrente em coordenadas polares, para simplificar as equações de otimização. E na região de enfraquecimento de campo, é limitada a tensão em seu terminal, levando em consideração as limitações do motor e do acionamento para estender a região de potência constante e sua máxima velocidade. Além disso, foi adicionado à estrutura de controle, uma alimentação direta (*feedforward*) do torque de relutância, no intuito de minimizar o efeito de perturbações de carga. Em todas as etapas de desenvolvimento para obtenção do modelo do motor, a discretização do controle, os ajustes dos reguladores e as técnicas de modulação da tensão foram simuladas e ensaiadas experimentalmente.

Palavras-chave: PMaSYRM. MTPA. MTPV. Máquinas Síncronas. Modelagem.

ABSTRACT

The use of permanent magnet synchronous motors for traction applications has grown up, due to its several advantages, such as high efficiency and speed range. However, as these machines have the dependence of rare earth materials in the permanent magnets manufacturing and its market monopoly, the automotive industries need to invest in new technologies, which reduces or eliminates the use of these components. Considering this approach, this master thesis will present the permanent magnet assisted synchronous reluctance motor (PMaSYNRM) modeling, nonlinearities, and its control. Then it is developed the control for constant torque region by the Maximum Torque per Ampere (MTPA) control, using polar current representations, simplifying the optimization equations. And on the field weakening region, the terminal motor voltage limitation control is made using a PI to change the current phase, considering the motor and inverter limits to extend the constant power region and the maximum motor speed. Besides that, it is added to the control structure a reluctance torque feedforward, as an attempt to mitigate the load perturbation dynamic response. Considering all the development steps to get the model, the control discretization, the regulator tuning, and voltage modulation techniques were simulated and made the experimental tests.

Key-words: PMaSYNRM. MTPA. MTPV. Synchronous Machines. Modelling.