

THIẾT KẾ BỘ LỌC TẦN SỐ ĐIỆN ÁP AC CỦA BIẾN TẦN A700

● NGUYỄN NGỌC TIỀN

TÓM TẮT:

Bài nghiên cứu này phân tích về ngõ ra của bộ lọc trong biến tần, bộ lọc LC được thiết kế để giảm thiểu sự méo dạng hay còn gọi là gai áp trên ngõ ra của điện áp và dòng điện, vấn đề điện áp rơi trên cuộn dây, sự cộng hưởng tần số của hệ thống và hạn chế cuối cùng là sự quan trọng trong quan điểm điều khiển bởi vì vector điều khiển đòi hỏi lấy mẫu cao hơn tần số đáp ứng. Việc thiết kế có đề cập đến tần số trở kháng của cuộn dây và dòng điện xoáy trong lõi của cuộn dây, từ đó phương pháp thiết kế được tăng cường đến công suất của các khối và chức năng của việc đóng cắt của tần số. Thiết kế nhằm giảm thiểu chi phí của biến tần, xác định tần số chuyển mạch tối ưu. Việc mô phỏng và thí nghiệm cho thấy các hạn chế của bộ lọc được khắc phục và kiểm soát tốc độ cảm biến hoạt động tốt với các bộ lọc tối ưu.

Từ khóa: bộ lọc tần số LC, biến tần A700.

1. Đặt vấn đề

Việc điều chế độ rộng xung đã được ứng dụng phổ biến trong đời sống hằng ngày và trong môi trường công nghiệp vì nó có nhiều ưu điểm, như: tiết kiệm được năng lượng và kiểm soát lỗi tốt.

Để khắc phục vấn đề này chúng ta sử dụng bộ lọc thông thấp để dạng sóng ra của biến tần có dạng sin, các bộ lọc có thể tiết kiệm được chi phí trong các thành phần của hệ thống như:

- Biến tần có thể cải thiện về kích thước do một phần từ hóa được chứa trong các tụ lọc.
 - Cấp không cần bảo vệ nếu ta sử dụng điện thế chung của mạch lọc.
 - Có thể không dùng bộ lọc nhiễu EMI.
- Việc thiết kế bộ lọc hình sin thường dựa trên sự

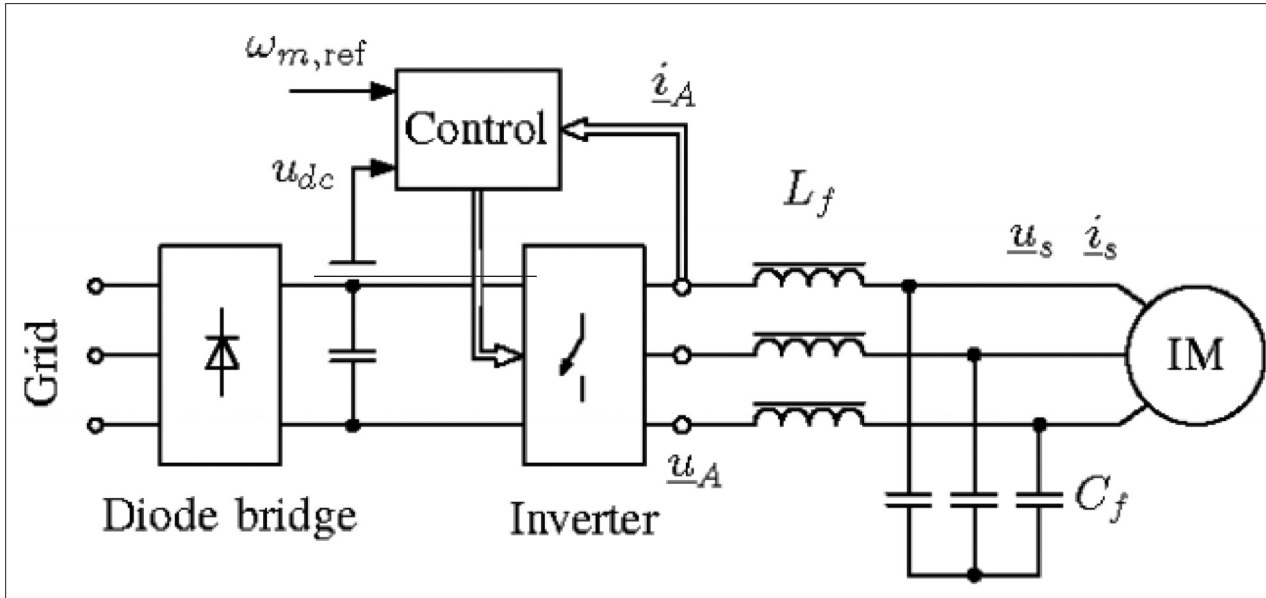
cộng hưởng tần số, chi phí tương đối của cuộn dây và tụ điện được đưa vào trong việc thiết kế bộ lọc. (Hình 1)

2. Mạch lọc và mô hình động cơ

Với tần số cao, sự thay đổi điện cảm của cuộn dây với tần số sẽ được mô hình hóa, những sự thay đổi này phụ thuộc vào dây dẫn và kích thước. Chúng ta có thể giảm được bằng cách thiết kế một cách phù hợp. Tần số tăng lên vài kilohezt dòng điện xoáy gây ra trong lõi sắt làm giảm độ tự cảm của cuộn dây.

Trong phần sau biểu thức được sử dụng để mô hình hóa đặc tính của lõi sắt (bỏ qua ảnh hưởng của từ hóa), điện trở và độ tự cảm của cuộn dây được tính như sau:

Hình 1: Sự thay đổi tốc độ của hệ thống được thay đổi bởi biến tần



$$R_{Lf} = R_{Lf,dc} + \omega L_{f,dc} - \frac{\delta \sinh \frac{\omega}{\delta} - \sin \frac{\omega}{\delta}}{\omega \cosh \frac{\omega}{\delta} + \cos \frac{\omega}{\delta}} \quad (1)$$

$$L_f = L_{f,dc} - \frac{\delta \sinh \frac{\omega}{\delta} + \sin \frac{\omega}{\delta}}{\omega \cosh \frac{\omega}{\delta} + \cos \frac{\omega}{\delta}} \quad (2)$$

Trong đó $R_{Lf,dc}$ và $L_{f,dc}$ là điện trở và cuộn dây của mạch lọc, $\delta = \sqrt{2\rho/(\mu\omega)}$ là độ sâu của lõi, ρ điện trở của lõi, μ là độ từ thẩm, ω là tần số góc.

3. Phân tích hài điện áp ngõ ra của biến tần

Ngõ ra, điện áp của biến tần có tần số góc ω_s được điều chế với tín hiệu sóng mang có tần số góc ω_c . Mật độ phổ điện áp $u_a(t)$ được tính bằng chuỗi Fourier như sau: (Hình 2)

Các phương pháp điều chế khác nhau cho ta các mật độ phổ điện áp của biến tần khác nhau.

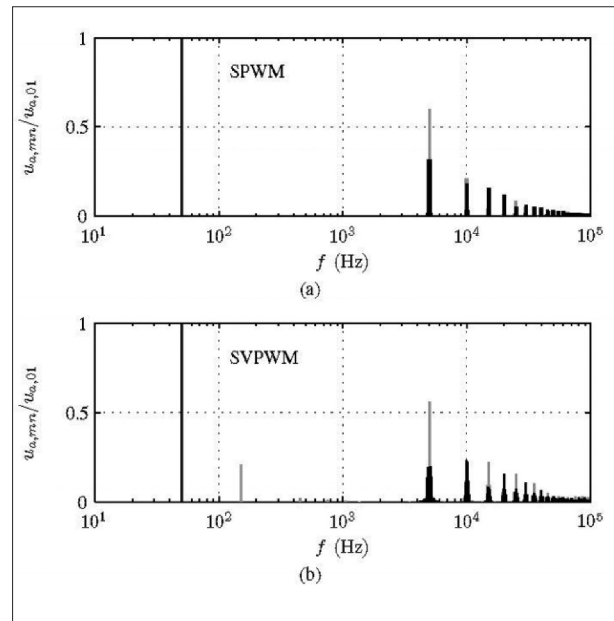
Hệ số điện áp

$$u_{a,mn} = \frac{u_{dc}}{m\pi} j_n(M_d \pi m/2) \sin\left[\frac{(m+n)\pi}{2}\right] \quad (3).$$

Trong đó, hệ số Fourier thu được từ các hệ số chuyển mạch điện thế như sau:

$$u_A = \frac{2}{3} (u_a + u_b e^{j2\pi/3} + u_c e^{j4\pi/3}) u_{a,mn} \quad (4)$$

Hình 2: Mật độ phổ điện áp khi tần số $\omega_c = 2\pi.5000\text{rad/s}$, $\omega_s = 2\pi.50\text{rad/s}$ và $M_d = 1$ với (a) SPWM và (b) SVPWM



4. Tính chất lọc

Dựa trên chức năng chuyển từ điện áp đầu ra biến tần với điện áp stator là:

$$G(s) = \frac{u_s(s)}{u_d(s)} = [0 \ 1 \ 0 \ 0] (sI - A)^{-1} B \quad (5)$$

Từ ma trận đơn vị I, tương tự, chức năng chuyển

từ điện áp đầu ra biến tần qua dòng điện đầu ra biến tần có thể được thể hiện như:

$$Y(s) = \frac{i_a(s)}{u_a(s)} = [0 \ 1 \ 0 \ 0] (sI - A)^{-1} B \quad (6)$$

Với vận tốc góc độ góc của một động cơ như:

Các thông số động cơ được đưa ra trong Bảng I. Các thông số bộ lọc được sử dụng trong ví dụ này là $L_{f,dc} = 3.8mH$, $C_f = 40 \mu F$ và $R_{L,dc} = 0.3\Omega$, thông số của lõi sắt $\rho = 7.10^{-7} \Omega m$, $\mu = 300 \mu_0$ và $\omega = 0.5 mm$ tần số cộng hưởng của hệ thống phụ thuộc vào bảng thông số bộ lọc và điện cảm trên stator thông qua:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L_f L'_s}{L_f + L'_s} C_f}} \quad (6)$$

Bộ lọc cộng hưởng điện kháng LC. Nếu điện áp đầu ra biến tần không gồm tần số cộng hưởng sóng hài, sự tương tác của điện trở nội trong bộ lọc vừa đủ và không cần thiết có điện trở giảm xóc riêng biệt.

4.1. Méo hài của điện áp stator

Các hệ số Fourier của vector điện áp stator $u_{s,mn} = G_{mn} u_{A,mm}$ (7)

Bảng Thông số của động cơ bốn cực 2.2kW 400V-50Hz và nguồn biến tần

- Thông số động cơ:

+ Điện trở Stator R_s : 3.67 Ω ; Điện trở Rotor R_r : 1.65 Ω ; Cảm kháng Stator L'_s 0.021H.

+ Mômen từ hóa L_m : 0.264H; Tổng Moment quán tính J: 0.0155 kg; Tốc độ định mức n_N : 1430 r/min.

+ Dòng điện định mức (ms) I_N : 5.0A; Mô men T_N : 14.6Nm.

- Thông số biến tần:

+ Điện áp một chiều u_{dc} : 540V; Tần số chuyển đổi f_c : 5Khz; Tần số lấy mẫu f_{sa} : 10Khz

+ Điện áp pha và dây trung tính là:

$$u_s = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} |u_{s,mn}|^2} \quad (8)$$

+ Điện áp biến dạng của hài (THD) stator:

$$THD_{us} = \frac{\sqrt{U_s^2 - U_{s1}^2}}{U_{s1}} \quad (9)$$

Với $u_{s1} = |u_{s,01}|/\sqrt{2}$ điện áp trung bình của thành phần cơ bản.

4.2. Độ giảm điện áp

Giảm áp trên các cuộn cảm lọc tần số được nhỏ.

Điện áp tương đối có thể được tính:

$$k_{Au} = \frac{U_{AI} - U_{SI}}{U_{AI}} \quad (10)$$

Giảm áp không chỉ phụ thuộc vào điện cảm bộ lọc, mà còn trên điện dung bộ lọc.

4.3. Méo hài dòng điện của biến tần

Điện ngỏ ra của biến tần là giá trị hiệu dụng:

$$I_A = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} |I_{A,mn}|^2} \quad (11)$$

Với $i_{A,mn} = Y_{mn} u_{A,mm}$

và $Y_{mn} = Y(s)|_{s=j(m\omega_c + n\omega_s)}$

Khi dùng lọc LC, dòng hài ngỏ ra của biến tần càng lớn bởi vì điện kháng của tụ càng nhỏ thì dòng điện có tần số lớn qua được. Những dòng được giới hạn chủ yếu bởi các bộ lọc điện kháng. Dòng điện đầu ra biến tần THD có thể được xác định như:

$$THD_{iA} = \frac{\sqrt{I_A^2 - I_{A1}^2}}{I_{A1}} \quad (12)$$

5. Thiết kế bộ lọc hiệu quả

Thông số hàm: Giá trị cuộn dây và tụ điện là:

$$H_{filter} = h_L L_{f,dc} + H_{L0} + 3(h_C C_f + H_{co}) \quad (13)$$

Thiết kế bộ lọc: Vấn đề thiết kế bộ lọc là bài toán cần tính để tối ưu hóa các thông số như: Min H_{filter} , $L_{f,dc}$, C_f

Với: $THD_{us} \leq THD_{us,max}$, $THD_{iA} \leq THD_{iA,max}$, $K_{Au} \leq K_{Au,max}$, $f_{res} \leq f_{res,max}$

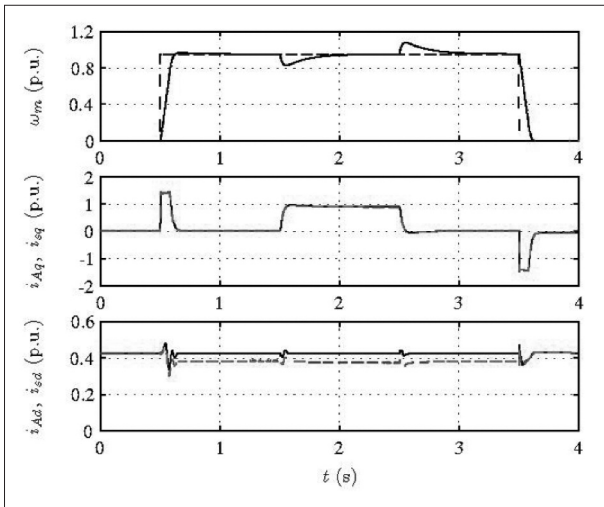
6. Kết quả mô phỏng

(Hình 3, Hình 4, Hình 5, Hình 6)

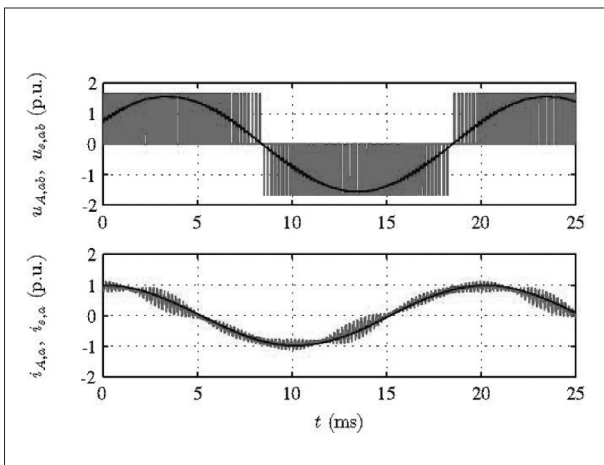
7. Kết luận

Một thiết kế hiệu quả chi phí của các bộ lọc đầu ra biến tần đòi hỏi kiến thức về giá bộ lọc thành phần, động cơ và biến tần thông số và các yêu cầu lọc. Nếu điều khiển là vector kiểm soát, tần số lấy mẫu phải có ít nhất 4 lần tần số cộng hưởng của hệ thống. Yêu cầu này là một yếu tố hạn chế đặc biệt nếu tần số lấy mẫu thấp. Nếu không, các yếu tố hạn chế như trình bày tại Hình 7.

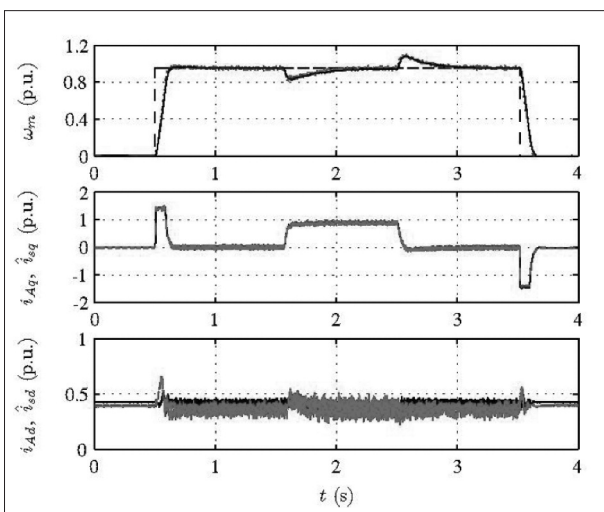
Hình 3: Tốc độ hiển thị và tải thay đổi



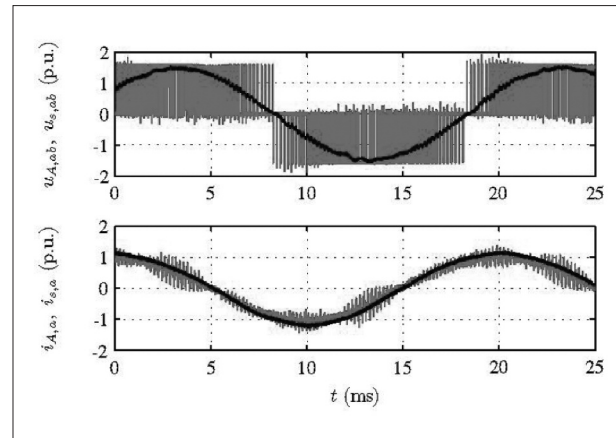
Hình 4: Điện áp hiển thị dạng sóng



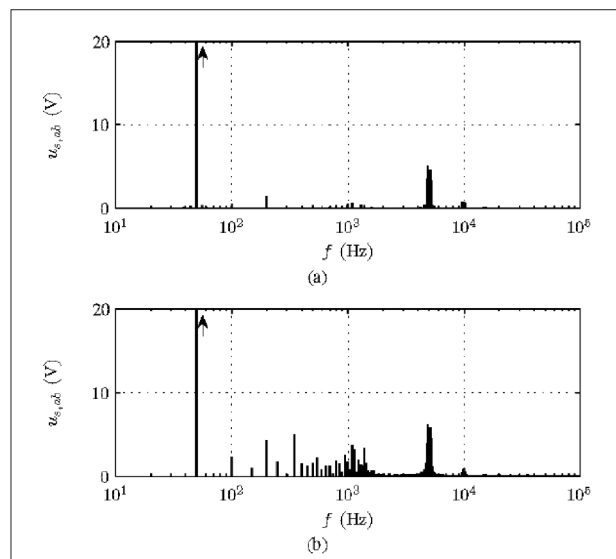
Hình 5: Tốc độ và tải trọng thay đổi



Hình 6: Điện áp hiển thị kết quả thực nghiệm và dạng sóng



Hình 7: (a) Mô phỏng và (b) phổ kết quả thực nghiệm hiện của stator điện áp



THD của điện áp stator hoặc THD đầu ra của biến tần. Điện áp có thể là hạn chế chi phối nếu tần số cơ bản là cao. Các biến tần suất chi phí giai đoạn có thể được xem xét trong thiết kế bộ lọc để tìm tần số chuyển mạch tối ưu. Tăng tần số chuyển mạch làm giảm giá bộ lọc, nhưng chi phí biến tần được tăng lên. Mô phỏng và thực nghiệm kết quả cho thấy rằng các bộ lọc được thiết kế theo các thủ tục thiết kế đề xuất đáp ứng các hạn chế thiết kế và điều khiển vector không cảm biến tốc độ hoạt động tốt với các bộ lọc chi phí tối ưu ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Võ Minh Chính (2019). *Điện tử công suất*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Nguyễn Thanh Tú (2009). *Giáo trình máy điện*. Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
3. Quách Thanh Hải, Phạm Quang Huy (2017), *Điện tử công suất - Tính toán - Mô phỏng - Thực hành*. NXB Thanh niên, Hà Nội.
4. Faraday's work - electro-magnetic rotations. [Online] Available at <http://www.engineering-timelines.com/how/electricity/rotations.asp>
5. Edvard (2011). Induction machines - historical touch. [Online] Available at <http://electrical-engineering-portal.com/induction-machines-historical-touch>

Ngày nhận bài: 5/8/2022

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 5/9/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 13/9/2022

Thông tin tác giả:

NGUYỄN NGỌC TIỀN

Trường Đại học Trà Vinh

AC VOLTAGE FREQUENCY FILTER DESIGN OF A700 INVERTER

● **NGUYEN NGOC TIEN**

Tra Vinh University

ABSTRACT:

This study analyzes the output of the filter in the inverter. LC filter is designed to minimize the distortion or spike on the output of voltage and current, the problem of voltage drop on the coil of wire, and the system's frequency resonance. The design takes into account the frequency impedance of the coil of wire and the eddy current in the core of the coil. The design is enhanced to reach the capacity of the blocks and the increasing function of the switching frequency. This design aims to reduce the cost of inverter and determines the optimal switching frequency. This study's simulations and experiments show that the filter's limitations have been overcome, and the sensor speed control with the optimal filter works well with the inverter.

Keywords: LC frequency filter, A700 inverter.