

THIẾT KẾ MÁY THU/PHÁT TÍN HIỆU ÂM THANH TẦN SỐ THẤP SỬ DỤNG GIAO THỨC SPI GIỮA PIC18F4520 VỚI THẺ NHỚ MMC/SD

Nguyễn Văn Ân*, Hoàng Lê Hà

Khoa Điện tử-Viễn thông, Trường Đại học Khoa học Huế

*Email: ngvanan2009@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo thực hiện việc thiết kế máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp trên cơ sở ghép nối vi điều khiển PIC18F4520 với thẻ nhớ MMC/SD. Cấu trúc phần cứng và giải thuật phần mềm điều khiển hoạt động của máy do chúng tôi thiết kế đã đáp ứng được yêu cầu. Thực nghiệm cho thấy máy hoạt động tốt, tần số giới hạn và độ dốc băng tần của các bộ lọc đo được phù hợp với lý thuyết tính toán, giao tiếp giữa PIC18F4520 với MMC/SD đạt độ chính xác và ổn định cao. Ngoài ra, các kết quả thực nghiệm về tín hiệu thu/phát cũng đã thể hiện rõ khả năng lọc nhiễu và tính đồng bộ của máy. Kết quả của bài báo này là cơ sở để mở rộng triển khai hướng ứng dụng trong thực tiễn nhằm nâng cao tính linh động trong các hệ thống đo và điều khiển các đại lượng vật lý biến đổi chậm nói chung.

Từ khóa: MMC, OPAMP, PIC18F4520, SPI, TEA2025B.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu việc thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp không chỉ nhằm mục đích đáp ứng nhu cầu giải trí của con người mà còn là tiền đề làm nền tảng cho việc nghiên cứu cũng như triển khai ứng dụng vào thực tiễn trong một số lĩnh vực liên quan đến việc thăm dò, đo lường, điều khiển các đại lượng điện và không điện. Việc sử dụng thẻ nhớ MMC/SD để ghi, lưu trữ và truy xuất dữ liệu là vấn đề không còn mới, tuy nhiên để can thiệp được vào việc xử lý và điều khiển các đại lượng đo liên quan đến tín hiệu nhận được là vấn đề rất đáng quan tâm. Ngoài chất lượng kỹ thuật thì giá thành cũng như sự linh động cho từng ứng dụng đặc thù đóng vai trò không nhỏ đối với nhu cầu sử dụng thực tế.

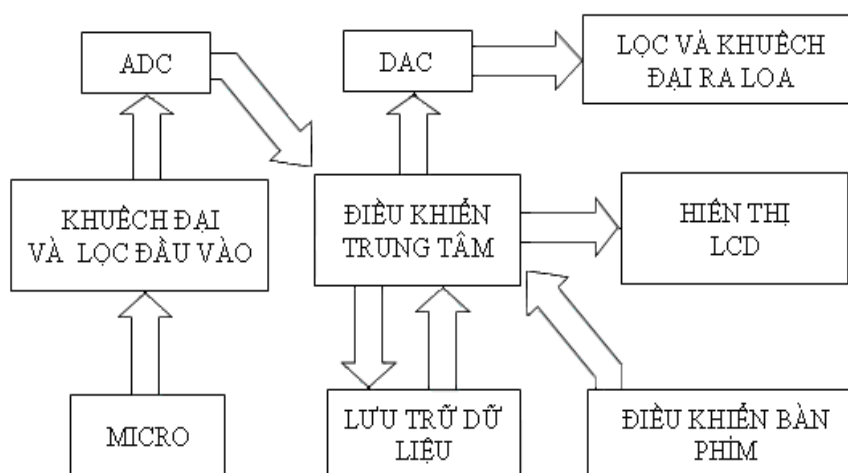
Từ đặc tính của PIC18F4520 [6], DAC0808 [2], một số mạch điện ứng dụng sử dụng vi mạch OPAMP [1,3], phương pháp tính toán và quy trình thiết kế bộ lọc tích cực thông thấp [1], hoạt động vào/ra dữ liệu ở SPI mode của thẻ nhớ MMC/SD [5,7], phương thức giao tiếp giữa PIC18F4520 với MMC/SD [5] và ứng dụng của vi mạch TEA2025B trong khuếch đại công suất, chúng tôi đã tiến hành thiết kế và lắp ráp hoàn chỉnh phần cứng máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp có tốc độ lấy mẫu thay đổi được trên cơ sở ghép nối PIC18F4520 với thẻ nhớ MMC/SD. Từ đó viết chương trình phần mềm nạp cho PIC18F4520 để máy thực thi nhiệm vụ thu/phát và lấy mẫu tín hiệu thông qua việc lựa chọn từ khối điều khiển bàn phím bên ngoài.

Các kết quả khảo sát thực nghiệm về đáp ứng biên độ của bộ khuếch đại đầu vào, đáp ứng biên độ - tần số của các tầng lọc thông thấp, quá trình giao tiếp giữa PIC18F4520 - MMC/SD ứng với một số tín hiệu điện có hình dạng và tần số khác nhau, kiểm chứng tốc độ lấy mẫu tín hiệu và đặc biệt là việc thu/phát thử nghiệm một tín hiệu âm thanh tần số thấp đã được thể hiện rõ thông qua bài báo này.

2. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA MÁY VÀ GIAO THỨC SPI

2.1. Sơ đồ khối của máy

Để thiết kế máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp đáp ứng yêu cầu đặt ra, chúng tôi đã xây dựng mô hình với sơ đồ khối như ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của máy.

- Khối điều khiển bàn phím: gồm các phím nhấn dùng để lựa chọn, xác nhận chế độ thu/phát, tốc độ lấy mẫu tín hiệu cho máy và khởi tạo lại máy.
- Khối Micro: chuyển đổi tín hiệu dao động cơ học thành tín hiệu điện.
- Khối tiền khuếch đại và lọc đầu vào: có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu tương tự biên độ bé sau microphone và lọc nhiễu, lọc tín hiệu cao tần.
- Khối hiển thị: sử dụng LCD để tạo giao diện sử dụng cho người dùng; cụ thể: thông báo kết quả khởi tạo thẻ nhớ MMC/SD được điều khiển từ PIC18F4520, hiển thị chế độ làm việc, tốc độ lấy mẫu tín hiệu và trạng thái hoạt động của máy.
- Khối ADC: sử dụng bộ ADC được tích hợp trong PIC18F4520 để chuyển đổi tín hiệu tương tự thành dữ liệu số để ghi vào khối lưu trữ dữ liệu.
- Khối lưu trữ dữ liệu: sử dụng thẻ nhớ MMC/SD để lưu trữ dữ liệu dạng số.
- Khối điều khiển trung tâm: sử dụng phần tử chính là vi điều khiển PIC18F4520 đã được nạp phần mềm điều khiển cho phép lựa chọn tốc độ lấy mẫu tín hiệu và thực thi quá trình

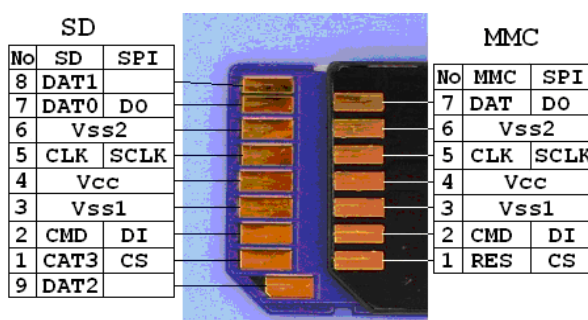
ghi dữ liệu vào thẻ nhớ hoặc truy xuất dữ liệu từ thẻ nhớ tương ứng với chế độ làm việc của máy. Đây là trung tâm điều khiển hoạt động cho máy.

- Khối chuyển đổi tín hiệu DAC: sử dụng vi mạch DAC0808 để chuyển đổi tín hiệu số sau khi truy xuất từ thẻ nhớ thành tín hiệu tương tự.

- Khối lọc và khuếch đại ra loa: chuyển đổi tín hiệu dòng điện từ đầu ra của DAC0808 thành tín hiệu điện áp, loại bỏ nhiễu và khuếch đại công suất để phát ra loa.

2.2. Giao thức giữa PIC18F4520 với thẻ nhớ MMC/SD

MMC/SD có thể giao tiếp thông qua hai mode cơ bản là MMC/SD mode và SPI mode [5,7], việc lựa chọn giao thức tùy thuộc vào yêu cầu về tốc độ ghi/đọc và đặc tính của chip vi điều khiển. Giao thức giữa PIC18F4520 với MMC/SD sử dụng trong bài báo được thiết lập ở SPI mode. Sơ đồ chân và chức năng các chân của MMC/SD khi hoạt động ở SPI mode được cho tương ứng trên hình 2 và bảng 1 [5,7].



Hình 2. Sơ đồ chân của MMC/SD.

Bảng 1. Chức năng các chân trong SPI mode

TT chân	Ký hiệu	Ghi chú
1	CS	Chân chọn chip
2	DI	Vào dữ liệu
3	Vss1	Nối đất
4	Vcc	Dương nguồn
5	CLK	Chân giữ nhịp
6	Vss2	Nối đất
7	DO	Ra dữ liệu

Giao tiếp bắt đầu được thực hiện khi PIC18F4520 gửi tín hiệu để thiết lập mức thấp cho chân CS của MMC/SD, Chân CS luôn giữ ở mức thấp trong quá trình gửi một khung lệnh cũng như quá trình trao đổi dữ liệu giữa PIC18F4520 với MMC/SD. Lệnh được PIC18F4520 truyền đến MMC/SD thông qua chân DI, phản hồi lệnh được MMC/SD gửi lên PIC18F4520 qua chân DO, chân CLK là chân giữ nhịp giữa PIC18F4520 với MMC/SD.

Để thực hiện giao tiếp giữa PIC18F4520 với MMC/SD, đầu tiên PIC18F4520 gửi một số lệnh để khởi tạo và cài đặt các thông số giao tiếp, sau đó các khối dữ liệu sẽ liên tiếp được PIC18F4520 ghi vào MMC/SD hoặc đọc từ MMC/SD. Lệnh từ PIC18F4520 gửi đến MMC/SD được đóng gói và sắp xếp trong một khung định dạng gồm 48 bit được chia thành 6 byte với cấu trúc được mô tả ở hình 3, giá trị và ý nghĩa của các bit được cho ở [5,7]. Khi nhận được một khung lệnh từ PIC18F4520, MMC/SD sẽ gửi một byte phản hồi lệnh, PIC18F4520 liên tục đọc byte phản hồi này cho đến khi nhận được giá trị phản hồi hợp lệ. Tín hiệu ở chân DI của MMC/SD luôn được giữ ở mức cao trong quá trình PIC18F4520 đọc byte phản hồi.

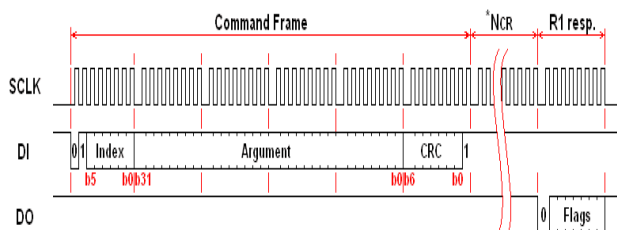
Bài báo đã sử dụng byte phản hồi R1 từ MMC/SD với khuôn dạng cho ở hình 4. Nếu byte phản hồi R1 có giá trị 00h, nghĩa là MMC/SD đã sẵn sàng giao tiếp ghi/đọc ở SPI mode. Nếu giao tiếp chưa sẵn sàng do lỗi nào đó, bit tương ứng trong byte phản hồi sẽ được thiết lập

Thiết kế máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp sử dụng giao thức SPI ...

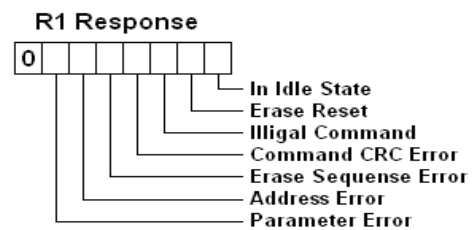
bảng 1 [5,7].

Các bước đã thực hiện để khởi tạo MMC/SD hoạt động ở SPI mode:

- Thiết lập chân CS, DI lên mức cao.
- Gửi đến MMC/SD 80 xung clock.
- Thiết lập chân CS ở mức thấp và gửi lệnh CMD0 gồm 6 byte 40h, 00h, 00h, 00h, 00h, 95h để đặt MMC/SD hoạt động ở SPI mode.
- Kiểm tra byte phản hồi R1. Nếu byte R1 có giá trị 01h, lệnh CMD0 đã thành công.
- Lặp đi lặp lại quá trình gửi lệnh CMD1 và kiểm tra byte phản hồi R1. Nếu byte R1 có giá trị 00h, MMC/SD đã sẵn sàng hoạt động ghi/đọc.



Hình 3. Cấu trúc khung lệnh.

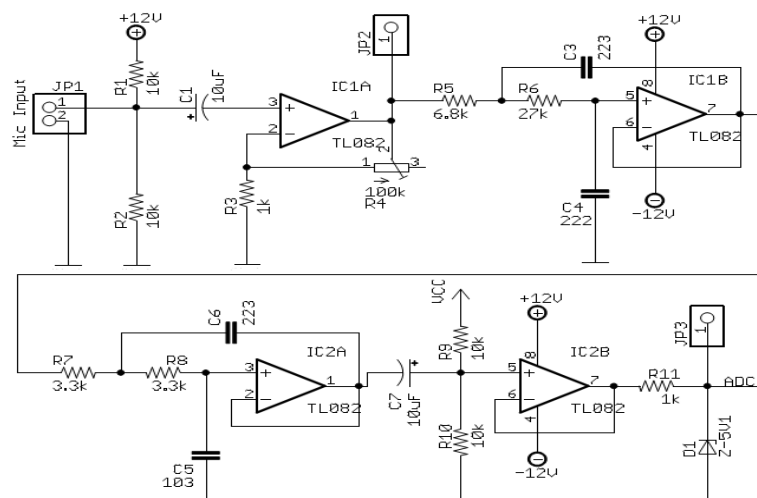


Hình 4. Cấu trúc byte phản hồi R1.

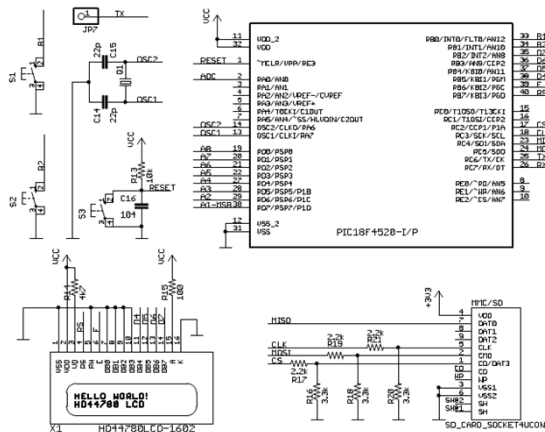
3. THIẾT KẾ SƠ ĐỒ MẠCH NGUYÊN LÝ VÀ GIẢI THUẬT PHẦN MỀM

3.1. Sơ đồ mạch nguyên lý

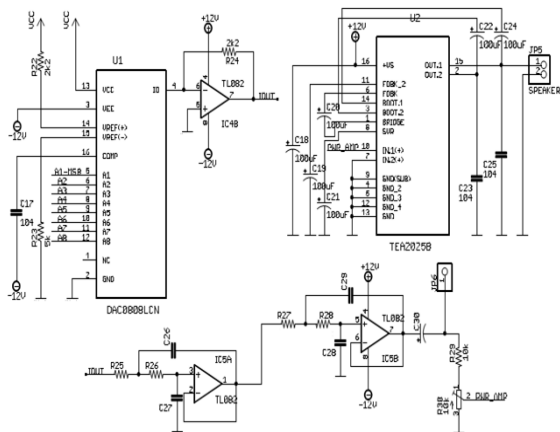
Từ việc tìm hiểu về hoạt động của các vi mạch, thẻ nhớ MMC/SD, bộ lọc thông thấp, mạch lặp, mạch khuếch đại điện áp và mạch khuếch đại công suất, chúng tôi đã thiết kế và lắp ráp hoàn chỉnh máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp với sơ đồ nguyên lý được cho ở hình 5, hình 6 và hình 7.



Hình 5. Mạch khuếch đại và lọc đầu vào.



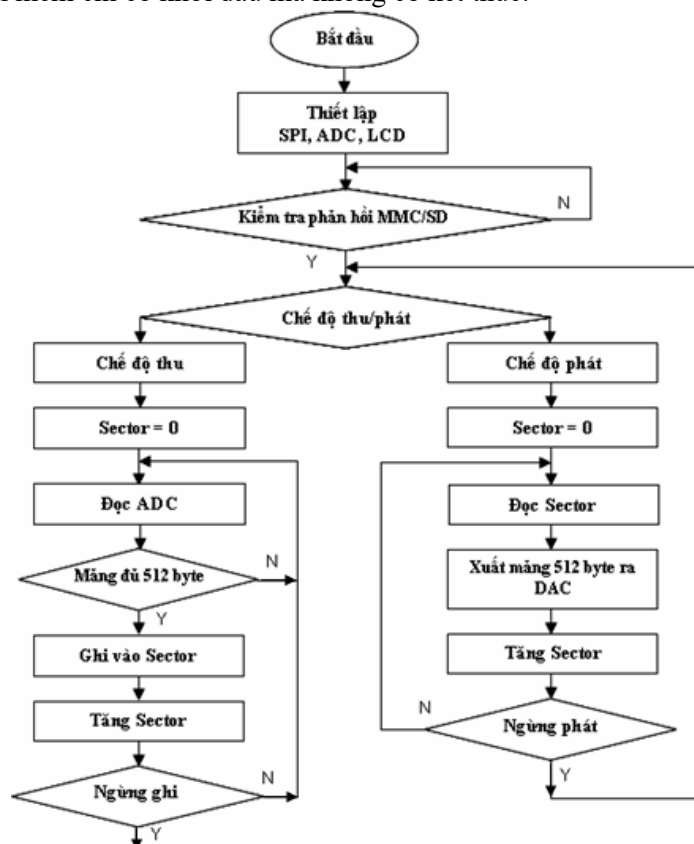
Hình 6. Mạch ghép nối giữa khối phím điều khiển với PIC, MMC/SD và LCD.



Hình 7. Mạch ghép nối giữa DAC với khối lọc và khuếch đại công suất ra.

3.2. Lưu đồ chương trình điều khiển hoạt động của máy

Trên cơ sở mô hình máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp đã chọn, phương thức giao tiếp ở SPI mode giữa PIC18F4520 với MMC/SD và nguyên tắc lưu trữ/truy xuất dữ liệu của MMC/SD, chúng tôi đã thiết kế giải thuật chương trình phần mềm nạp PIC18F4520 để điều khiển hoạt động của máy theo lưu đồ cho ở hình 8. Với hệ thống hoạt động liên tục, lưu đồ chương trình phần mềm chỉ có khởi đầu mà không có kết thúc.



Hình 8. Lưu đồ chương trình nạp PIC18F4520.

3.3. Sơ lược hoạt động và một số đặc tính của máy

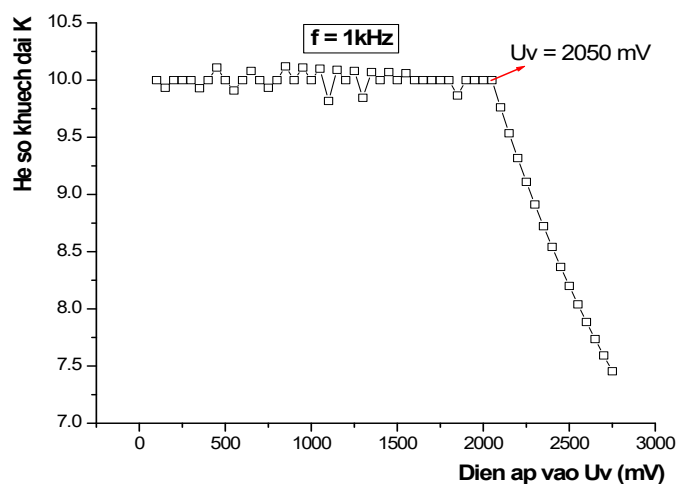
Sau khi cấp nguồn cho máy, khối điều khiển trung tâm với phần mềm đã được nạp sẵn sẽ thực hiện việc thiết lập các thanh ghi trong PIC18F4520 đồng thời khởi tạo thẻ nhớ MMC/SD cho hoạt động ở SPI mode thông qua một số lệnh gửi từ PIC18F4520, qua đó khởi tạo giao tiếp giữa vi điều khiển PIC18F4520 với thẻ nhớ MMC/SD và đợi kết quả phản hồi. Quá trình khởi tạo và kết quả phản hồi được hiển thị trên màn hình LCD. Nếu khởi tạo thành công, máy sẵn sàng đợi lệnh điều khiển tiếp theo từ khối bàn phím để lựa chọn tốc độ lấy mẫu và thực thi các chế độ thu/phát tín hiệu tương ứng.

- Chế độ thu: tín hiệu tương tự đầu ra của microphone sau khi qua mạch khuếch đại và lọc thông thấp đầu vào sẽ được đưa đến PIC18F4520 để chuyển đổi thành tín hiệu số nhờ bộ chuyển đổi ADC nội 8 bit đã được thiết lập trong PIC18F4520. Tín hiệu số sau quá trình chuyển đổi sẽ được ghi vào thẻ nhớ MMC/SD.

- Chế độ phát: các byte dữ liệu số từ thẻ nhớ MMC/SD được truy xuất để chuyển đến các đầu ra của PIC18F4520. Tín hiệu số ra được chuyển thành điện áp tương tự thông qua bộ chuyển đổi DAC0808 và bộ biến đổi dòng điện - điện áp sử dụng OPAMP TL082. Điện áp ra tương tự tiếp tục được loại bỏ thành phần cao tần, lọc nhiễu và tăng cường công suất để phát ra loa nhờ khối khuếch đại công suất sử dụng TEA2025B.

4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT VÀ THẢO LUẬN

4.1. Đặc tuyến biên độ của mạch khuếch đại đầu vào



Hình 9. Đặc tuyến biên độ của mạch khuếch đại đầu vào.

Đặc tuyến biên độ khảo sát tại tần số chuẩn 1kHz được cho ở hình 9. Từ đặc tuyến, chúng ta có nhận xét: với biến trở R4 như đã chọn, mạch khuếch đại sẽ làm việc tuyến tính tương ứng mức điện áp đỉnh của tín hiệu vào lớn nhất khoảng 2050mV. Với trị số các linh kiện của mạch khuếch đại đầu vào trong sơ đồ nguyên lý, mức điện áp đỉnh của tín hiệu vào lớn nhất

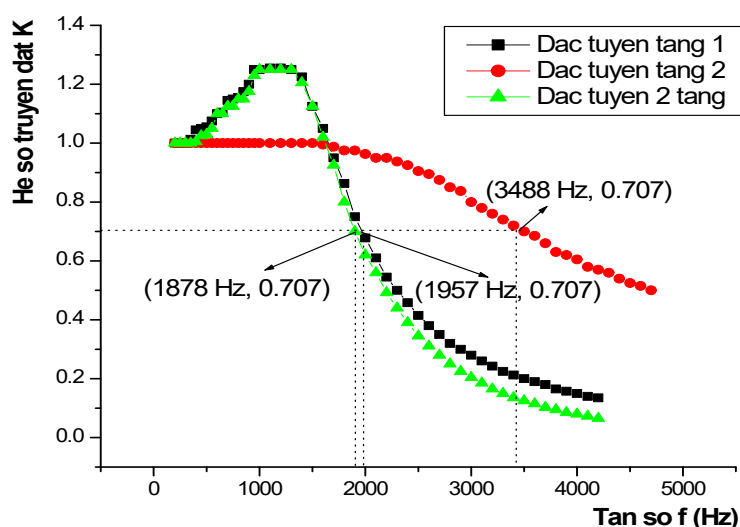
để mạch vẫn làm việc tuyến tính có giá trị trong khoảng từ 20500mV đến 203mV, tương ứng hệ số khuếch đại của mạch thay đổi từ 1 đến 101 lần.

Khối khuếch đại đầu vào làm việc với độ ổn định cao, dễ dàng điều chỉnh hệ số khuếch đại thông qua việc điều chỉnh biến trở R4. Tùy thuộc mức tín hiệu điện áp sau microphone mà ta cần lựa chọn hệ số khuếch đại của mạch một cách thích hợp nhằm nâng cao độ chính xác của quá trình thu/phát tín hiệu.

4.2. Đặc tuyến biên độ - tần số của bộ lọc

Đặc tuyến biên độ - tần số nhận được của hai tầng lọc bậc 2 và tầng lọc bậc 4 tạo thành từ việc kết hợp dây chuyền hai tầng lọc bậc 2 nói trên với tín hiệu vào $V_i = 2V$ được chỉ ra ở hình 10. Tần số giới hạn của các tầng là: $f_{g1} \approx 1957 \text{ Hz}$, $f_{g2} \approx 3488 \text{ Hz}$, $f_g \approx 1878 \text{ Hz}$.

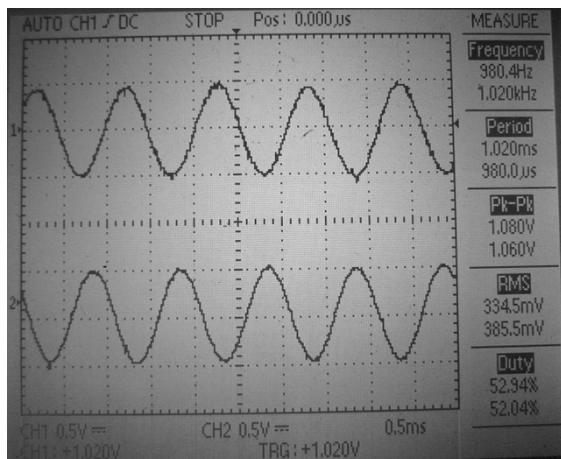
Đặc tuyến thể hiện tần số giới hạn của bộ lọc tích cực thông thấp bậc 4 mà chúng tôi đã thiết kế đạt độ chính xác cao, phù hợp với lý thuyết tính toán đối với loại bộ lọc Bessel thông thấp bậc 4 [1], độ dốc băng tần của bộ lọc đáp ứng tốt chất lượng lọc tín hiệu theo yêu cầu. Kết quả này là cơ sở để tính toán, thiết kế các bộ lọc tích cực có dải thông khác nhau phục vụ trong kỹ thuật lọc tín hiệu tương tự.



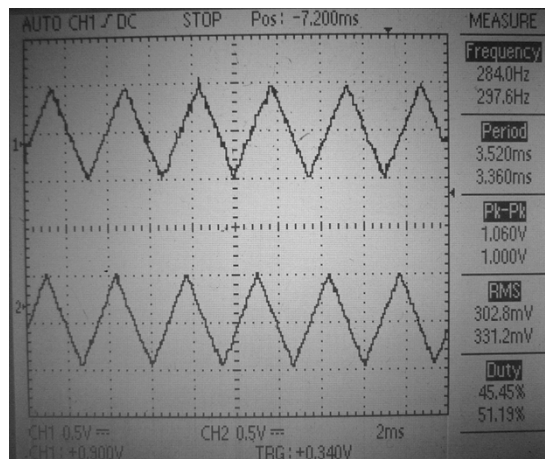
Hình 10. Đặc tuyến biên độ - tần số của bộ lọc.

4.3. Giao tiếp ghi/đọc giữa PIC18F4520 với MMC/SD

Để khảo sát giao tiếp ghi/đọc giữa PIC18F4520 với MMC/SD, chúng tôi cấp tín hiệu điện áp tương tự từ máy phát vào chân 1 của IC2A, lấy tín hiệu phát lại từ chân 7 của IC4B. Kết quả đo tín hiệu điện áp vào và tín hiệu điện áp phát lại trên dao động ký số DS-1250 ứng với một vài tín hiệu vào có hình dạng và tần số khác nhau được cho ở hình 11, hình 12. Trong đó: tín hiệu vào đo bởi kênh CH2 (dưới), tín hiệu phát lại đo bởi kênh CH1 (trên).



Hình 11. Tín hiệu vào điều hòa tần số 1kHz, điện áp đỉnh 1Vpp.



Hình 12. Tín hiệu vào xung tam giác tần số 300Hz, điện áp đỉnh 1Vpp.

Trên cơ sở sơ đồ nguyên lý mạch điện, đặc tính của bộ lặp điện áp sử dụng IC2B, giá trị điện trở $R22 = R24 = 2,2k\Omega$, DAC0808 cũng như ADC nội được thiết lập trong PIC18F4520 cùng độ phân giải 8 bit và đều được cấp mức điện áp so sánh +5V nên theo tính toán lý thuyết thì mức điện áp đỉnh đầu vào và mức điện áp đỉnh phát lại của quá trình khảo sát này phải bằng nhau.

Với mức điện áp đỉnh và tần số của các tín hiệu vào đã khảo sát, cùng với việc thực hiện lấy mẫu tín hiệu 8KHz, ta thấy ADC đang làm việc trong vùng chuyển đổi tuyến tính đồng thời việc lấy mẫu tần số thỏa mãn định lý Nyquist [4]. Ngoài ra, nếu có sự đồng bộ tốt giữa quá trình ghi/đọc thì tín hiệu điện áp phát lại cùng dạng và cùng tần số với tín hiệu điện áp vào.

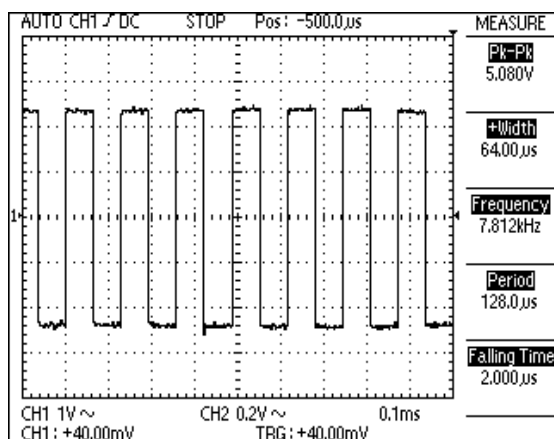
Kết quả thu được ở hình 11 và hình 12 cho thấy: tín hiệu điện áp phát lại có hình dạng, mức điện áp đỉnh và tần số gần trùng với tín hiệu điện áp vào. Điều này chứng tỏ khối giao tiếp giữa PIC18F4520 với MMC/SD do chúng tôi thiết kế hoạt động tốt, phù hợp với lý thuyết tính toán được từ mạch thực nghiệm và có tính đồng bộ ghi/đọc cao.

4.4. Tín hiệu lấy mẫu và dạng sóng vào/ra

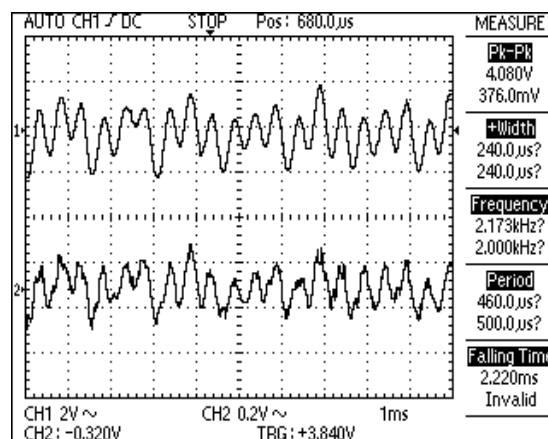
Tín hiệu lấy mẫu đo trên dao động ký số DS-1250 khi chọn tốc độ lấy mẫu 8kHz cho máy trong quá trình thu tín hiệu được chỉ ra ở hình 13. Kết quả cho thấy chuỗi xung lấy mẫu nhận được khá phù hợp so với tính toán và ước lượng trong quá trình viết chương trình phần mềm nạp PIC18F4520. Mặc dù có sai số về tần số lấy mẫu, tuy nhiên sai số này ảnh hưởng không đáng kể đến quá trình thu/phát tín hiệu của máy và hoàn toàn khắc phục được. Đặc biệt, máy được thiết kế hoạt động với hai tốc độ lấy mẫu khác nhau là 8kHz và 16kHz tùy thuộc vào việc lựa chọn của người sử dụng. Ngoài ra, hệ thống phần cứng này cho phép lấy mẫu với tần số tối đa cỡ 20kHz nên máy có khả năng làm việc với tín hiệu vào có tần số lên đến 10kHz [4].

Hình 14 hiển thị dạng sóng tín hiệu âm thanh thử nghiệm dùng để kiểm chứng hoạt động của máy được đo bởi dao động ký số DS-1250. Trong đó: tín hiệu trước khối lọc đầu vào

đo bởi kênh CH2 (dưới), tín hiệu phát ra sau tầng khuếch đại công suất đo bởi kênh CH1 (trên). Kết quả nhận được chứng tỏ máy làm việc tốt, sóng phát lại cùng dạng với sóng thu vào và đã được tăng lên nhiều lần. Đặc biệt, việc lọc nhiễu của máy đảm bảo yêu cầu.



Hình 13. Tín hiệu lấy mẫu 8kHz.



Hình 14. Dạng sóng thu và phát lại.

5. KẾT LUẬN

Kết quả bài báo chứng tỏ chúng tôi đã thiết kế thành công máy thu/phát tín hiệu âm thanh tần số thấp trên cơ sở giao tiếp giữa vi điều khiển PIC18F4520 với thẻ nhớ MMC/SD ở SPI mode. Máy có hai tốc độ lấy mẫu tín hiệu là 8kHz và 16kHz, tùy thuộc vào phổ tín hiệu cần thu cũng như yêu cầu về mặt chất lượng thu/phát tín hiệu và dung lượng lưu trữ mà người dùng có thể lựa chọn tốc độ lấy mẫu thích hợp. Hệ thống phần cứng đã thiết kế cho phép lấy mẫu với tốc độ lên đến 20kHz, nên máy có khả năng làm việc với tín hiệu vào có tần số cực đại 10kHz.

Tuy kết quả khảo sát còn hạn chế, các linh kiện lắp ráp có độ chính xác chưa cao, nhưng về cơ bản máy làm việc đảm bảo yêu cầu đặt ra. Kết quả này là cơ sở để mở rộng triển khai hướng ứng dụng trong thực tiễn đối với các hệ thống đo, lưu trữ và điều khiển các đại lượng vật lý nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Minh Hà (2002). Kỹ thuật mạch điện tử, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Ngô Diên Tập (2004), Đo lường và điều khiển bằng máy tính, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Đỗ Xuân Thụ (1997), Kỹ thuật điện tử, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [4]. Nguyễn Quốc Trung (2004), Xử lý tín hiệu và lọc số, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Dogan Ibrahim, SD Card Projects Using the PIC Microcontroller, Website:
http://www.eetimes.com/ContentEETimes/Documents/1515_ch3.pdf.

- [6]. Microchip Technology Inc., PIC18F2420/2520/4420/4520 Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology, Website:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39631e.pdf>.
- [7]. Technical Documentation Group Hitachi Kodaira Semiconductor Co., Ltd., MultiMediaCard™ User's Manual, Website:
<http://www.dip8.ru/pdf/e603002a.pdf>.

**DESIGN OF RECEIVING AND TRANSMITTING MODULE
FOR LOW- FREQUENCY AUDIO BASED ON SPI PROTOCOL
COMMUNICATION BETWEEN PIC18F4520 AND MMC/SD MEMORY CARD**

Nguyen Van An*, Hoang Le Ha

Department of Electronics-Telecommunications, Hue University of Sciences

**Email: ngvanan2009@gmail.com*

ABSTRACT

The purpose of this research is to design the receiving and transmitting module for low-frequency audio based on communication between PIC18F4520 and MMC/SD memory card. Hardware structure and algorithms controlling the operation of the module meet the requirement of the research purpose. The experimental results show both the good operation of the module and the criteria satisfaction between limited frequency as well as bandwidth slope of filter and theoretical calculation . They also represent the accuracy and stability of communication between PIC18F4520 and MMC/SD memory card. Furthermore, ability of noise reduction and synchronization properties of module is shown by the signals which are received or transmitted in experiment. Based on the results of the research, improvement of flexibility of measurement and control system for general slow-change physical variables can be obtained in practice.

Keywords: MMC, OPAMP, PIC18F4520, SPI, TEA2025B.