

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ADCP

ThS TRẦN VĂN TUẤN, HỒ ANH TUẤN, TRẦN MẠNH THẮNG

Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa  
Bộ Công Thương

Bài báo giới thiệu nguyên lý làm việc, một số đặc điểm chính trong nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thực thi các tính toán lưu lượng của thiết bị đo lưu lượng dòng chảy dựa trên nguyên lý ADCP. Những kết quả bước đầu cho thấy, nhóm nghiên cứu đã làm chủ công nghệ và chế tạo được thiết bị đo lưu lượng trên cơ sở công nghệ hiện đại, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của thiết bị và hoàn toàn có thể đưa vào ứng dụng thực tế tại các trạm quan trắc khí tượng thủy văn, góp phần thực hiện quy hoạch tổng thể mạng lưới quan trắc tài nguyên và môi trường quốc gia.

**Từ khóa:** thiết bị đo lưu lượng dòng chảy, ADCP.

## RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURE OF FLOW MEASURING INSTRUMENT USING ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER

### Summary

In the paper, some main aspects in the research, design and manufacture of flow measuring instrument based on the principle of acoustic Doppler current profiler (ADCP) has been addressed. ADCP uses the broadband pulsed Doppler technology. A highly reconfigurable hardware to calculate flow using ADCP has been developed. The initial results presented in this paper show that the ADCP has measured flow well in accordance with the standard flow meter.

**Key words:** flow measuring instrument, ADCP.

## Đặt vấn đề

Năm 2011, Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa được giao thực hiện đề tài cấp nhà nước: Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị đo lưu lượng dòng chảy ứng dụng công nghệ ADCP, thời gian thực hiện 2011-2014. Thiết bị đo lưu lượng được xây dựng dựa trên phương pháp xử lý tín hiệu siêu âm phản hồi trong nước theo nguyên lý Doppler. Đây là phương pháp tiên tiến đang được phát triển trên thế giới.

Hiện nay, các đài khí tượng ở Việt Nam đa phần vẫn đang sử dụng các thiết bị đo lưu tốc theo các phương pháp cũ (dùng phao trôi, kiểu cánh quạt), chỉ có một số trạm đo thủy văn vùng ảnh hưởng thủy triều và một số trạm vùng đồng bằng sông rộng được trang bị máy đo lưu lượng tự động ADCP (Mỹ). Tuy nhiên, do kinh phí đầu tư máy đo ADCP rất lớn (hàng chục nghìn USD), khi có sự cố kỹ thuật thì việc sửa chữa, bảo hành mất rất nhiều thời gian, ảnh hưởng lớn đến yêu cầu giám sát lưu lượng nước liên tục tại các điểm trọng yếu, nên việc triển khai ứng dụng thiết bị ADCP trong công tác quan trắc còn nhiều hạn chế.

Xuất phát từ những yêu cầu thực tế này, Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa đã tiến hành nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị đo lưu lượng ADCP nhằm bước đầu chủ động thiết kế chế tạo thiết bị đo lưu lượng, làm chủ công nghệ và chế tạo được thiết bị đo lưu lượng dòng chảy trên cơ sở công nghệ hiện đại. Sản phẩm của Viện đã giúp giảm giá thành thiết bị so với ngoại nhập, phù hợp với điều kiện kinh tế Việt Nam, góp phần thực hiện quy hoạch tổng thể mạng lưới quan trắc tài nguyên và môi trường quốc gia đến năm 2020 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt.

## Nội dung và kết quả nghiên cứu

### Nguyên lý làm việc của thiết bị đo lưu lượng ADCP

Tín hiệu siêu âm được phát theo chu kỳ cập nhật vận tốc dòng nước, để đảm bảo khả năng chống nhiễu, thông tin truyền đi được mã hóa theo phương pháp điều chế pha. Tín hiệu phát gặp các phần tử lơ lửng trong nước và phản hồi lại bộ thu. Do thời gian phản hồi của sóng siêu âm tỷ lệ với quãng đường lan truyền trong nước, nên ta có thể xác định vận tốc của từng lớp nước theo thời điểm phản hồi tương ứng của chúng. Sau khi tín hiệu phản hồi được giải điều chế và downsampling, thông tin phát ban đầu được phục hồi. Từ đây, có thể tính được độ dịch tần số Doppler của tín hiệu phản hồi bằng cách sử dụng hàm tương quan theo công thức:

$$f_D = \frac{\tan^{-1}(I/R)}{2\pi lT}$$

Trong đó:  $f_D$ : tần số Doppler,  $I$ : kết quả phần ảo của hàm tương quan,  $R$ : kết quả phần thực của hàm tương quan,  $l$ : độ trễ của hàm tương quan,  $T$ : chu kỳ trích mẫu.

Từ kết quả độ dịch tần số Doppler, tính ra vận tốc tương đối của nước so với thuyền theo công thức Doppler:

$$v = \frac{cf_D}{2f_T \cos \theta}$$

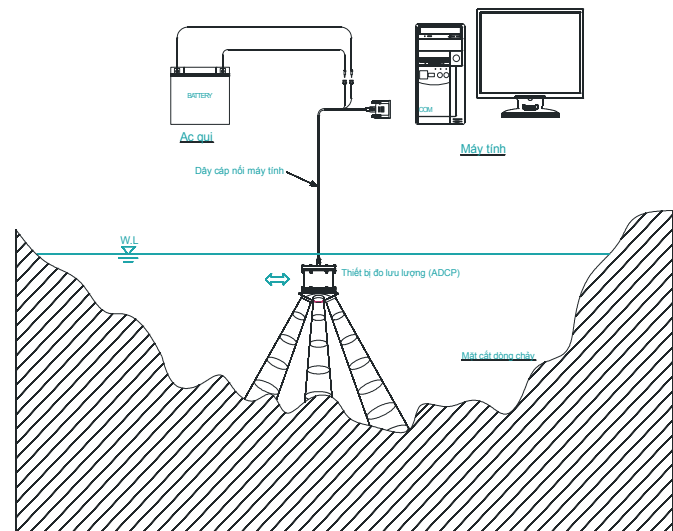
Trong đó:  $v$ : vận tốc dòng nước;  $c$ : tốc độ sóng âm;  $f_T$ : tần số tín hiệu siêu âm phát;  $\theta$ : góc lệch của đầu dò.

Việc tính toán vận tốc dựa theo sự thay đổi tần số Doppler cũng cho biết vận tốc tương đối của thuyền đối với lòng sông thông qua tín hiệu dò đáy. Nhờ các tham số vận tốc tương đối giữa thuyền so với dòng nước và thuyền đối với lòng sông, thu được vận tốc của nước. Từ profile các điểm đo vận tốc trên mặt cắt sông thu được giá trị lưu lượng theo biểu thức:

$$Q_t = \int_0^T \int_0^d ((\vec{V}_f \times \vec{V}_b) \cdot \vec{k}) dz dt$$

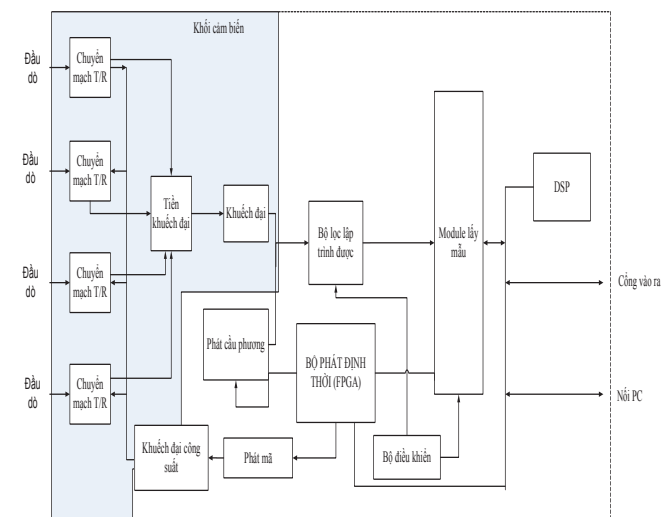
Trong đó:  $\vec{V}_f$ : vec tơ vận tốc nước, tính bằng m/s;  $\vec{V}_b$ : vec tơ vận tốc của tàu, tính bằng m/s;  $\vec{k}$ : vectơ đơn vị.

### Thiết kế tổng thể thiết bị đo lưu lượng ADCP



Hình 1: thiết bị ADCP

Từ nguyên lý làm việc nêu trên, thiết bị ADCP được thiết kế gồm hai bộ phận như sau: phần dưới nước thực hiện chức năng thu và phát tín hiệu siêu âm, tiền khuếch đại tín hiệu và chứa các module sensor phụ trợ hỗ trợ quá trình tính toán lưu lượng; phần trên cạn thực hiện chức năng thu thập, xử lý tín hiệu siêu âm thu được, thực hiện các tính toán xác định phép đo, đồng thời điều khiển xung phát.



Hình 2: sơ đồ khối thiết bị đo ADCP

Cấu trúc của thiết bị ADCP được xây dựng bao gồm các module chính sau: module chuyển mạch, module khuếch đại và lọc, module trích, giữ mẫu và xử lý tín hiệu, module xử lý trung tâm và module các sensor phụ trợ.

Module chuyển mạch thực hiện chức năng giao tiếp với các đầu dò, lựa chọn chuyển mạch tín hiệu theo từng thời điểm cảm biến siêu âm thực hiện chức năng phát hay chức năng thu xung siêu âm. Khi nhận tín hiệu từ các đầu dò, chọn lọc và dịch những tần số này vào dải tần cơ sở, xử lý tạm thời để đưa tín hiệu tới khối khuếch đại và lọc.

Module khuếch đại và lọc thực hiện triệt nhiễu và khuếch đại tín hiệu có kích thước khi tính toán phân tích các dữ liệu thu được. Tín hiệu sau khuếch đại sẽ trở thành tín hiệu đầu vào của module xử lý tín hiệu.

Module xử lý trung tâm thực hiện nhiệm vụ phân tích tín hiệu thu được qua các phép toán quan trọng như giải điều chế, downsampling, tính toán tương quan. Đây là bộ phận có nhiệm vụ tính toán với khối lượng phép tính và dữ liệu lớn với tốc độ cao, được thực thi trên nền tảng phần cứng FPGA và DSP.

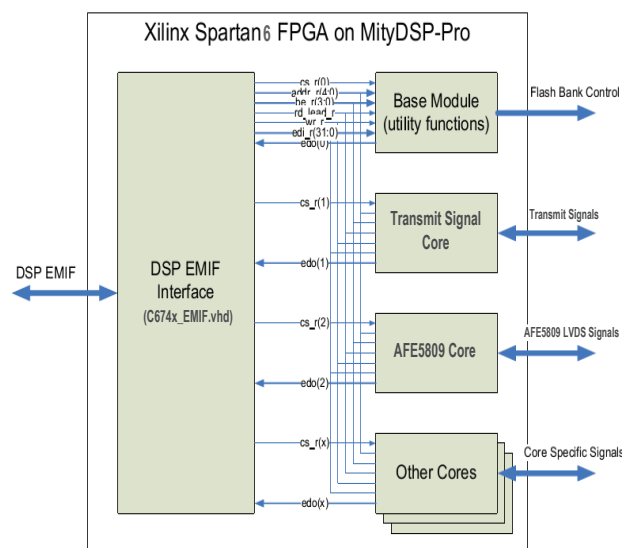
Module phụ trợ sử dụng trong thiết bị giúp hỗ trợ việc tính toán, hiệu chỉnh và đánh giá các thông số đo được của thiết bị gồm module la bàn số và cảm biến nhiệt độ.

### Thực thi tính toán lưu lượng nước

Quá trình tính toán lưu lượng và vận tốc nước được thực thi qua 3 bước chính bao gồm: bước 1: tiền xử lý tín hiệu đầu vào, thực hiện trích lấy mẫu; bước 2: giải điều chế và downsampling dữ liệu; bước 3: tính toán hàm tương quan, tần số Doppler, vận tốc nước và lưu lượng. Trong đó, quá trình đầu được thực thi trên IC AFE5809 của hãng Texas Instruments, đây là IC tích hợp đầu vào tương tự, được thiết kế chuyên cho các hệ thống xử lý tín hiệu siêu âm. AFE5809 được tích hợp 8 kênh đầu vào với các khối khuếch đại hệ số nhiễu thấp, bộ lọc thông thấp với các hệ số có thể lập trình được, bộ chuyển đổi tương tự số 14 bit tốc độ cao (65 MSPS). Đặc biệt, IC này được tích hợp các bộ giải điều chế I/Q số sau khối ADC và các bộ decimation filter với hệ số từ 1 đến 32. Đây là các khối có vai trò hết sức quan trọng, làm giảm một cách đáng kể khối lượng tính toán cho FPGA và DSP, nâng cao tính tích hợp

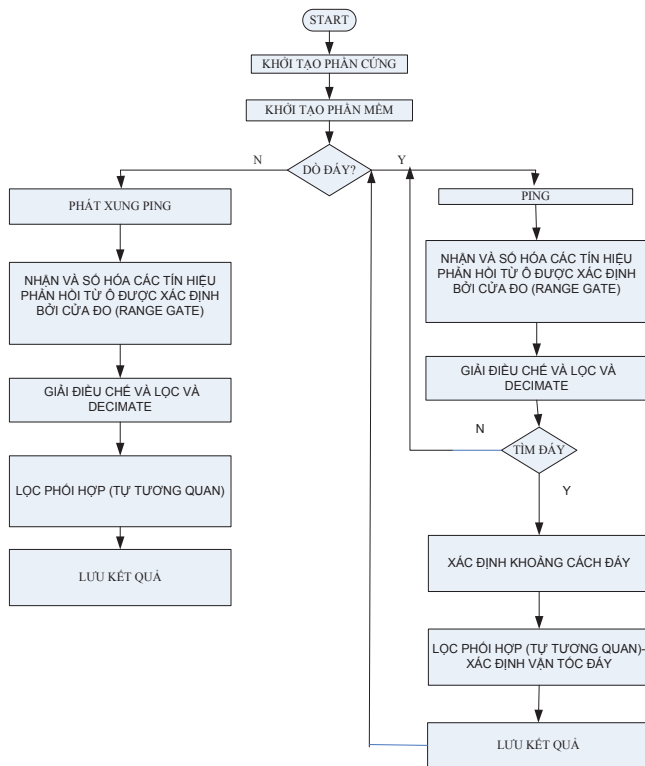
cho bo mạch. Dữ liệu đầu ra là chuỗi dữ liệu chứa kết quả dạng I/Q sau bộ decimation được đưa ra dưới dạng nối tiếp thông qua đường vi sai tốc độ cao LVDS với tốc độ truyền có thể lên tới 910 Mbps.

Dữ liệu truyền dưới dạng nối tiếp, được xử lý giao thức LVDS bao gồm việc phát hiện byte đồng bộ, trích các giá trị I/Q trong chuỗi dữ liệu và lưu vào bộ nhớ FIFO trước khi thực hiện phép toán tính tương quan. Do quá trình này cần xử lý dữ liệu với tốc độ cao (160 MHz), song song với 4 kênh sensor nên được thực thi trên FPGA SPARTAN 6 của Xilinx. Cấu trúc các khối logic trong FPGA được tổ chức thành các core module theo các chức năng cụ thể. Trong đó, module C674x\_EMIF quản lý giao tiếp giữa DSP C645x với các module chức năng trong FPGA thông qua giao thức EMIF.



Hình 3: cấu trúc module phần mềm của FPGA

Dữ liệu sau khi được giải điều chế trên AFE5809, xử lý giao thức LVDS và downsampling trên FPGA thì được truyền tới DSP để thực hiện các phép toán chính. DSP sẽ đảm nhiệm hầu hết các nhiệm vụ tính toán, bao gồm các phép tương quan, các phép tính tần số Doppler, các đại lượng vận tốc tương đối để suy ra vận tốc dòng chảy của sông theo các bình độ khác nhau. Đồng thời DSP cũng thực hiện nhiệm vụ hiệu chỉnh giá trị vận tốc tính được theo giá trị góc nghiêng thu được từ la bàn số, ước lượng các giá trị vận tốc gần bờ, và tính toán lưu lượng của dòng chảy.



Hình 4: thuật toán xác định lưu tốc và dò đáy

Qua quá trình nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm trên nền tảng phần cứng đã trình bày ở trên, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được cấu trúc và tiến hành thiết kế chế tạo thiết bị đo lưu lượng dòng chảy dựa trên nguyên lý ADCP với các thông số kỹ thuật chính:

|                            |            |                              |
|----------------------------|------------|------------------------------|
| Góc mở chùm tia âm thanh   | Độ         | ~22°                         |
| Số biến tử (dạng chùm lỗi) |            | 4                            |
| Độ sâu có thể đo           | m          | 30 ( tần số đầu đo: 600 kHz) |
| Bộ nhớ trong               |            | 4 GHz                        |
| Độ chính xác vận tốc       | cm/s       | ± 1% dải đo ± 1 cm/s         |
| Dải đo vận tốc             | m/s        | ± 5 m/s (mặc định), ± 20 m/s |
| Kết hợp GPS                |            | Có                           |
| Cảm biến phụ trợ           |            | Nhiệt độ và la bàn           |
| Truyền tin                 | Đặc tính   | UHF/VHF, GPRS/GSM            |
| Vỏ thiết bị                | Tiêu chuẩn | IP68                         |



Hình 5: thiết bị đo lưu lượng dòng chảy ADCP

## Kết luận

Bước đầu, nhóm nghiên cứu đã làm chủ được công nghệ và chế tạo được thiết bị đo lưu lượng trên cơ sở công nghệ hiện đại. Kết quả chạy thử các thông số kỹ thuật của thiết bị tương đương với mẫu tham khảo của nước ngoài. Với kết quả này, nhóm nghiên cứu hoàn toàn tin tưởng sản phẩm có thể đưa vào sử dụng, phục vụ công tác quan trắc lưu lượng dòng chảy, giúp giảm giá thành thiết bị so với ngoại nhập, phù hợp với điều kiện kinh tế Việt Nam, đóng góp thực hiện quy hoạch tổng thể mạng lưới quan trắc tài nguyên và môi trường quốc gia đến năm 2020 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt.

## Tài liệu tham khảo

1. Michael R. Simpson: Discharge measurements using a broad-band acoustic doppler current profiler - United States Geological Survey - Sacramento, California, 2001.
2. Blair H. Brumley, Kent L. Deines, Poway, Ramon G. Cabrera, Eugene A. Terray: Broadband Acoustic Doppler Current Profiler - U.S. Patent 5,483,499, 1996.
3. Workhorse Rio Grande technical manual - P/N957-6101-00 - [www.rdinstruments.com](http://www.rdinstruments.com), 2000.
4. WinRiver II Quick Start Guide - P/N 957-6230-00 - <http://www.rdinstruments.com>, 2007.
5. Principals of operation. A practical primer for broadband acoustic Doppler current profilers (2nd ed.): R.D. Instruments, Inc., San Diego, California, 1999.