

# NUEVO HARDWARE PARA LA MODERNIZACIÓN DE LOS POLARÍMETROS DE LA SERIE LASERPOL

E. ARISTA ROMEU, W. MORA MAZORRA Y V. FAJER ÁVILA

Departamento Desarrollo Instrumentación, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Cuba.  
arista@ceaden.edu.cu †  
†autor para la correspondencia

Se discuten las consideraciones para la modernización de los polarímetros de la serie LASERPOL, que consta de los modelos 101M, 3M y LP4. Para este fin se desarrollaron nuevos diseños de los circuitos de control, medición y alta tensión y se escogió una nueva topología constructiva para el equipo. El circuito de control se basará en un micro-procesador de 8 bit tipo PIC, que permitirá brindar nuevas prestaciones y ampliar las posibilidades de uso de los polarímetros de la serie LASERPOL y además facilitará el desarrollo del software básico residente usando herramientas de diseño disponibles. Para el circuito de alimentación de alta tensión del tubo fotomultiplicador se emplea un módulo CD-CD y se analizan las ventajas del nuevo diseño. Se comparan las prestaciones de los nuevos circuitos con las existentes anteriormente y se analiza como estas características pueden ser aprovechadas para la mejora de los algoritmos usados para la elaboración y visualización de los resultados de las mediciones.

Some considerations for the modernization of the LASERPOL series polarimeters, which consists of models 101M, 3M and LP4, are discussed. For this purpose, new designs for the control, measurement and high voltage circuits were developed and a new constructive topology was chosen for the equipment. The control circuit is based on a 8 bit PIC microcontroller that provides new performances, it extends the possibilities of employment of the series LASERPOL polarimeters and besides it facilitates resident software development using readily available design tools. The advantages of the new design for the PMT (photomultiplier tube) high voltage power supply circuit with a DC-DC module are also analyzed.

**Palabras Clave.** Polarimeters, 07.60.Fs, Digital circuits, 84.30.Sk, Electronic circuits, 07.50.Ek, 84.30.-r.

## INTRODUCCIÓN

En el CEADEN (Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear), se producen los polarímetros de la familia LASERPOL.

Estos instrumentos analíticos de precisión fueron concebidos, diseñados y producidos en instituciones cubanas y cuentan con un importante aval de introducción en industrias e instituciones del país e incluso una modesta exportación a instituciones latinoamericanas [1,2,3,4]. Los instrumentos producidos han contado con la verificación y calibración del Instituto de Metrología de Cuba (INIMET)

Entre las aplicaciones logradas podemos mencionar:

### **Industria farmacéutica.**

Los primeros polarímetros LASERPOL cubanos (de pequeño giro LASERPOL 101 y 101M) se introdujeron en la industria farmacéutica, con la colaboración del Ministerio de Salud

Pública de Cuba, en el proceso tecnológico para el control de materias primas y producto terminado, en las tres empresas productoras de sueros de dextrosa para el Sistema Nacional de Salud: Adalberto Pesant y Alberto Paz de ciudad de La Habana y los Laboratorios Oriente de Santiago de Cuba; ejerciéndose el control de la producción nacional de sueros en las tres plantas principales con los polarímetros LASERPOL donde por más de 20 años ha sido posible la aplicación de los polarímetros cubanos.

### **Industria azucarera.**

Fueron desarrollados e introducidos las versiones de polarímetros de amplio giro: LASERPOL 3, LASERPOL 3M y LASERPOL 4; en varios centrales del país con una importante colaboración del Laboratorio de Calibración y Ensayos Azucareros del ICINAZ, actualmente ICIDCA.

## Educación.

La introducción y empleo de los polarímetros láser cubanos LASERPOL, ha permitido la inclusión en la enseñanza universitaria de nuevas metodologías y prácticas de laboratorio en los siguientes centros de enseñanza superior: Escuela de Licenciatura en Física U.H., Escuela de Licenciatura en Química, IFAL e INSTEC.

Para asegurar el mantenimiento y reparación del parque de instrumentos de la serie LASERPOL instalados fue necesario elaborar una tarjeta de microprocesador capaz de satisfacer los requerimientos actuales de los usuarios de los instrumentos en explotación con un costo y afectación en tiempo mínimos y que mantuviera la compatibilidad, siendo un reemplazo directo a las tarjetas de control anteriores de modo de asimilar todo el soporte metodológico desarrollado previamente para las aplicaciones de los polarímetros de dicha serie. Sin embargo dichos requerimientos hicieron de la opción de usar una arquitectura "legacy" (figura 1) la más conveniente por permitir la reutilización del código ya existente con un mínimo de modificaciones. Este fue un paso intermedio antes de acometer una modernización a fondo del instrumento y permitió determinar aquellos circuitos y módulos cuyo mejoramiento tendrían un mayor impacto que es el objeto del presente trabajo.

Para esta modernización de los polarímetros que parte de la base de utilizar los mismos fundamentos físicos y especialmente el diseño existente del banco óptico [1], se desarrollaron nuevos diseños de los circuitos de control, medición y alta tensión, se escogió una nueva topología constructiva para el equipo y se compararon las características de los nuevos circuitos electrónicos propuestos con las existentes anteriormente.

La utilización de un microprocesador de 8 bit tipo PIC, como base del circuito de control permitirá brindar nuevas prestaciones y ampliar las posibilidades de uso de los polarímetros de la serie LASERPOL y además facilitará el desarrollo del software básico residente usando herramientas de diseño disponibles. Además se analiza como los nuevos recursos disponibles pueden ser aprovechados para la mejora de los algoritmos usados para la elaboración y visualización de los resultados de las mediciones.

Para el circuito de alimentación de alta tensión del tubo fotomultiplicador se emplea un módulo CD-CD y se analizan las ventajas del nuevo diseño.

## TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

La utilización de nuevos circuitos integrados con una mayor escala de integración conlleva una drástica disminución en los consumos de corrientes, lo que disminuye los requerimientos a las fuentes de alimentación usadas, así como la disminución considerable de los requerimientos de superficie de circuito impreso, haciendo innecesario la utilización de un "rack" para los circuitos

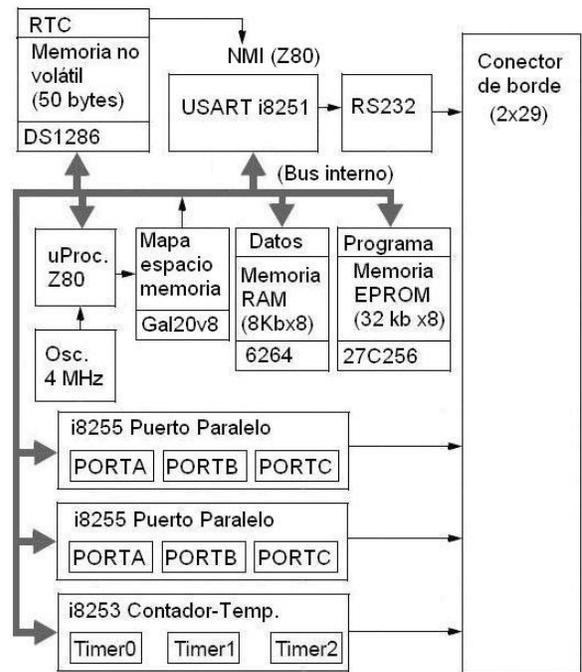


Figura 1. Esquema en bloque de la tarjeta de control (Z-80).

impresos de las distintas tarjetas usadas anteriormente (ver Tabla1). En la nueva concepción las fuentes de alimentación se sustituirán por un bloque fabricado por una firma especializada, el display o visualizador con pantalla táctil también será un módulo de fabricación externa.

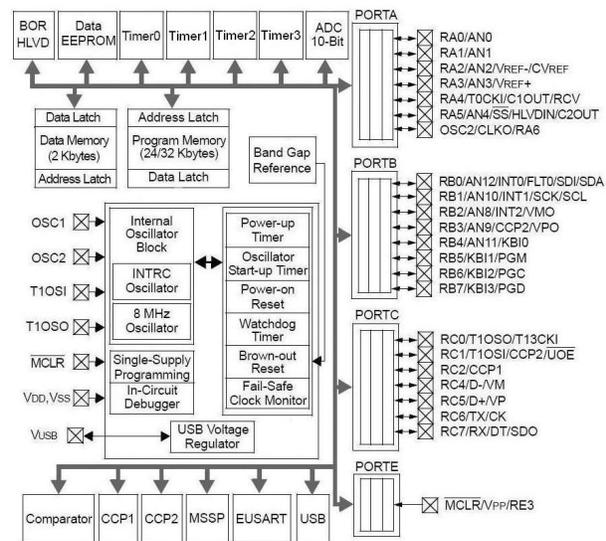


Figura 2. Esquema en bloque del c.i. PIC18F2550.

De modo que en la tarjeta quedan los siguientes circuitos: circuito de control, circuito de modulación, circuito de adquisición, circuito de compensación y circuito de alta tensión, este último en algunos modelos no se incorpora. En la concepción original a cada uno de ellos correspondía una tarjeta de circuito impreso debido a la escala de integración de los componentes utilizados.

## CIRCUITO DE CONTROL

La última versión de la tarjeta de control estaba basado en un microprocesador Z80 a 4 MHz, con los siguientes circuitos integrados como periféricos mapeados en el espacio de memoria (ver figura 1):

0000-7FFFH	EPROM	27C256 (32K)
8000-9FFFH	RAM	6164 (8K)
A000	Reloj de tiempo real	DS1286
C000-C003H	Puerto serie	8251
D000-D003H	Puertos paralelo I (3x8)	8255
E000-E003H	Puertos paralelo II (3x8)	8255
F000-F003H	Contador-temporizador (3)	8253

El nuevo circuito de control está basado en un micro-controlador PIC18F2455 (ver figura 2) que puede operar a 48MHz con los siguientes recursos dentro del cristal:

Memoria de programa (Bytes):	24 576
Memoria de programa (Instrucciones):	12 288
Memoria de datos (Bytes):	2048
Memoria EEPROM de datos (Bytes):	256
Interrupciones:	19
Puertos de Entrada /Salida:	Puertos A, B,C,(E)
Temporizadores:	4
Módulos PWM/Comp. /Captura:	2
Comunicación serie:	MSSP, USART mejorado
Módulo USB:	1
Módulo de CAD de 10 bits:	10 canales de entrada
Comparadores:	2

Aunque se debe hacer la observación de que no es posible usar todos los recursos simultáneamente debido a que muchos de ellos comparten entre sí distintos bloques del hardware que al ser usados para una función impiden su disponibilidad para otra; así por ejemplo una limitante importante es la pequeña cantidad de patillas disponibles del circuito integrado que hace que su funcionalidad dependa de su programación. Es evidente que este solo circuito integrado está en condiciones de sustituir lo que antes era toda una tarjeta, más si se toma en consideración la obsolescencia de las interfaces RS-232 y del puerto paralelo que hacen conveniente la utilización de la interface USB. Y también la sustitución del la tarjeta del display y del teclado por un módulo de pantalla táctil con interface serie. Estas dos últimas consideraciones explican porque disminuyen considerablemente los puertos paralelos necesarios en el nuevo diseño.

## FUENTE DE ALTA TENSIÓN

La concepción de la fuente de alta tensión original, es de un módulo (tarjeta) que trabaja de modo autónomo sin control por el usuario a partir de un lazo propio de retroalimentación, con el peligro de que en caso de apertura de ese lazo esa tensión pudiera alcanzar valores peligrosos para la integridad

del equipo. Además de requerir de componentes de fabricación propia como el transformador de alta tensión y el amplificador de ganancia variable (ver figura 3).

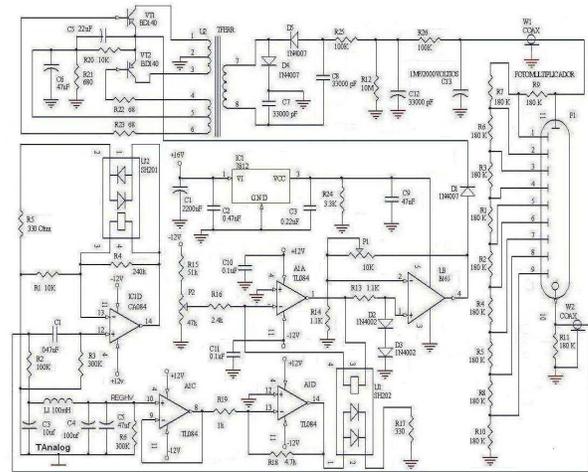


Figura 3. Fuente de alta tensión original.

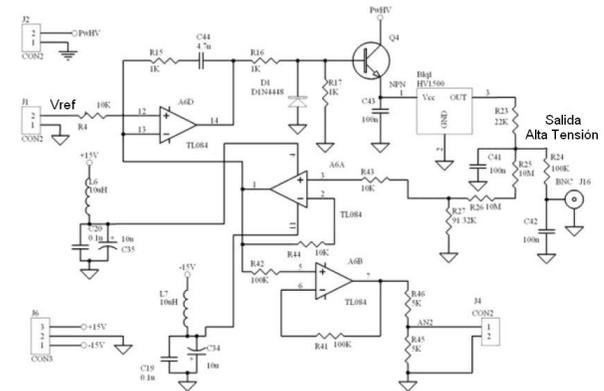


Figura 4. Fuente de alta tensión con módulo CD-CD.

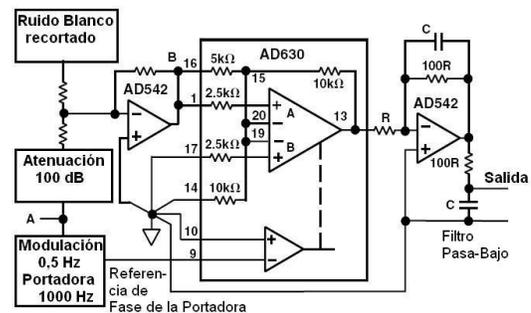


Figura 5. Configuración para la comprobación del Locking Amplifier.

En el nuevo diseño se utiliza un modulo CD-CD, que a partir de una baja tensión variable suministra a la salida la alta tensión necesaria. Esta tensión variable se regula suministrando una tensión de referencia y la alta tensión obtenida se monitorea a través de un convertor análogo digital, todo esto bajo control por el software. La tensión de referencia puede ser suministrada por el PIC18F2550 que posee una red de tensiones de referencia para los comparadores a partir de la fuente de referencia interna de "band gap" que puede ser usada para este fin por cuanto para esta funcionalidad es suficiente el paso de discretización dispo-

nible y la estabilidad de esta referencia es muy superior a la usada en el diseño anterior (ver figura 3); el conversor analógico digital y la salida de referencia están disponibles en el puerto A. La utilización del módulo CD-CD mejora la fiabilidad del diseño y la documentación de sus características (ver figura 4).

### CIRCUITO DE MEDICIÓN

El circuito de medición está íntimamente ligado al método de medición usado y es fundamental para la obtención de las características metrológicas del instrumento. En el diseño anterior el proceso de medición ocurre del siguiente modo: se genera una rampa analógica que actúa sobre la bobina del analizador rotando el plano de polarización de la luz, el circuito de detección basado en un amplificador sincronizado o de cerrojo discreto detecta el instante en el que desaparece la señal (la rotación de medición inducida compensa la rotación provocada por la muestra bajo análisis) para memorizar con un c.i. de muestreo (sample&hold) LF398, el valor instantáneo de la rampa que es medido utilizando un conversor analógico digital de 4 dígitos y medio (ICL 7135). En el nuevo diseño este proceso se modifica sustituyendo el conversor analógico-digital CAD por uno digital-análogo DAC de 14 bits (DAC8806) que se utilizará para generar una rampa digital de precisión de modo que al detectarse el instante de compensación el resultado de la medición es el código que se le ha suministrado al mismo.

Otra modificación importante consistente en la sustitución del amplificador sincronizado discreto empleado (Locking Amplifier), por un amplificador sincronizado integrado con mayores prestaciones. Este amplificador está diseñado en base al c.i. AD630 que es un modulador/demodulador balanceado de alta precisión y permite recuperar una señal de interés con fase y frecuencia conocida en 100 dB de ruido. Para ello se utiliza el AD630 en una configuración estándar (ver figura 5) y a partir de la información de frecuencia y fase de la señal de modulación se puede recuperar la señal con la información de la rotación del plano de polarización en el detector (fotomultiplicador) después del analizador óptico.

### CIRCUITO DE MODULACIÓN

Esta función se logra usando un modulo PWM (modulación de ancho de pulso) con resolución de 10 bits presente en el microcontrolador.

El periodo de repetición se calcula por la formula siguiente:

$$PWM_{Period} = [(PR2)+1]*4^{*} \frac{Tosc}{Prescale Value} *(TMR2_{Prescale Value})$$

#### Donde:

Tosc es el periodo del oscilador en microsegundos,

PR2 es el valor escrito en ese registro (8bits),

TMR2<sub>Prescale Value</sub> es el valor seleccionado del divisor de preescala del temporizador

El ciclo de trabajo (duty) se determina:

$$PWM_{Duty Cycle} = (Reg_{10bit})^{*} \frac{Tosc}{Prescale Value} *(TMR2_{Prescale Value})$$

#### Donde:

Reg10bit es un valor de 10 bits cuyos 8 bits más significativos se escriben en el registro CCPRxL y los dos menos significativos restantes en los bits 5 y 4 del registro CCPxCON.

Con una programación adecuada partir de un oscilador de 20Mhz (PR2 = 124, Reg<sub>10bit</sub> = 250, TMR2<sub>Prescale Value</sub> = 4) es posible la obtención de una forma de onda cuadrada con una frecuencia de 10.0 KHz.

Una vez obtenida una señal digital con forma de onda cuadrada y con la frecuencia requerida la señal es filtrada para obtener una señal sinusoidal que a continuación es amplificada por una etapa de potencia antes de ser suministrada a la bobina moduladora.

### DISCUSIÓN

Topología. La eliminación del rack (ver figura 6) y la disminución de la cantidad de tarjetas empleadas tienen importantes consecuencias con la disminución del costo de fabricación del equipo pero más importante aún se incrementa la fiabilidad del equipo al disminuir la cantidad de componentes e interconexiones. La utilización de un display táctil de nueva generación permite mejorar la

Tabla I Comparación de algunos parámetros del diseño pro-puesto con el existente			
Parámetros		Diseño existente	Diseño propuesto
Área circuito impreso (cm <sup>2</sup> )	Tarjeta control	150a	--
	Modulador	150 a	--
	Alta tensión	150 a	--
	Tarjeta rampa	150 a	--
	T. medición	162 a	-- c
	T. visualizador	309.1 a	--
	Tarjeta madre	16.6 a	16.6 a
		150 a	-- c
		99 a	-- c
		--	225 b
		1486.7 a	291.6 b
Consumo eléctrico (A)	+5V	0.7 a	0.5 b
	±12V	1.5a	0.8 b
	+24V	2.0a	3.0 b
a) Referencia [10]; b) Estimado; c) Externo;			

interacción del usuario con el equipo llevándola a un nuevo nivel no solo porque permite incrementar la calidad y cantidad de la información visual sino que también permite incrementar la cantidad de teclas y está acorde con las tendencias actuales siendo un factor importante en la apariencia del instrumento y facilidad de uso. La sustitución de las interfaces serie RS232 y paralela por una interface USB asegura que el equipo responde a las exigencias de



rá disminuir sustancialmente el mínimo requerido de transmisión óptica de la substancia de la muestra aumentando las posibilidades del instrumento.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Programa Nacional “Desarrollo de la Industria Azucarera” y por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnología de Avanzada, (AENTA).

---

[1] Fajer V., W. Pineda, W. Mora, H. Fernández., N. Duarte, J.C. López., J. Chao, R. Paredes, (1999): Polarímetro LASERPOL 3M para la automatización de los laboratorios de los centrales azucareros. Revista Cubana de Física, Vol. 16, No. 2: 65-58

[2] Fajer V-, C. Rodríguez, T. Cepero, S. Naranjo, E. Arista, W. Mora, G.

Mesa, H. Fernández, J. Arteche, V. Hormaza y G. Cossío (2008). Sistema automatizado de cromatografía líquida con detección polarimétrica láser y aplicaciones. Re-vista Cubana de Física, Vol. 25, No.2A,

[3] Rodríguez C.W., T. Cepero, V. Fajer, S. Naranjo, W. Mora, E. Arista, G. Mesa, H. Fernández, H. Fernández y D. Piñon (2009) Chromatographic automatic system with laser polarimetric detection technique for estimating real sucrose in sugarcane. Sugar Technology No.: 11 (4) pp 392-394

[4] Fajer V-, C. W. Rodríguez, S Naranjo, H. Fernández, W. Mora, T. Cepero, E. Arista, G. Mesa, G. Cossío, J. Arteche y C. Fonfría. (2010) Liquid chromatography automatic system with optical activity laser detector and its applications. Sugar Technology Vol 12 No.:3.

[5] Microchip, “PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet”, Microchip Technology Inc 2007.

[6] Analog Devices, “AD630 Balanced Modulator/ Demodulator Data Sheet”, Analog Devices Inc 2004.

[7] Jaecklin, G. S.(1970): Measuring current at extra high voltage. Laser Focus, (6):35-38

[8] Nolting, M. F.(1976). Polarimetry for sugar analysis. Proc. Mett. West Indies Sugar Cane Technol: 281-291.

[9] Duffy R.M. and Netterfield R.P.(1963). Design of Faraday Rotators and Modulators, Rev. Sci. Instrum. 55(5): 713-746. 10. Manual de servicio . Polarímetro Laserpol4. CEADEN, 2011...