

FOUNDATION FIELDBUS: EXEMPLO DE APLICAÇÃO

(2ª parte numa série de dois artigos sobre a tecnologia FF)

Vítor Viegas^{1, 2)}, J. M. Dias Pereira^{1, 2)}

¹⁾ Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal

²⁾ Instituto de Telecomunicações, Lisboa, Portugal
Correio eletrónico: vitor.viegas@estsetubal.ips.pt

1. INTRODUÇÃO

O artigo apresenta uma instalação de cariz didático desenvolvida para demonstrar os princípios do controlo de processos utilizando a tecnologia Foundation Fieldbus (FF). O texto começa por apresentar o desenho da instalação, descrevendo o processo físico que ela suporta e as malhas de controlo que ela disponibiliza, uma de nível e outra de caudal, grandezas típicas em processos industriais. O texto “agarra” depois na tecnologia FF e explica como ela pode ser utilizada para controlar a instalação, descrevendo a configuração dos instrumentos, o desenho de uma estratégia de controlo e a implementação de um programa de supervisão. O texto prossegue descrevendo os ensaios experimentais a que a instalação foi sujeita e termina extraindo conclusões quanto ao seu desempenho.

2. PROCESSO FÍSICO

O processo físico é a infraestrutura que cria os fenómenos físicos que se pretendem controlar. No presente caso, o processo disponibiliza as seguintes malhas de controlo (ver figuras 1 e 2):

- Malha de controlo de nível: O nível de água no interior do tanque fechado é medido pelo transmissor LT1 e é controlado atuando sobre a válvula de controlo FCV1. O tanque está equipado com uma válvula de escape para evitar pressões superiores a 3 bar.
- Malha de controlo de caudal: O caudal de água que sai do tanque é medido pelo transmissor FT1 e é controlado atuando sobre a válvula de controlo FCV2.

A tabela 1 apresenta as principais características da instrumentação instalada no processo físico. A interface com os transmissores analógicos (LT1 e FT1) foi feita utilizando o conversor IF1 (um conversor corrente/FF com três canais independentes). Todos os conversores, transmissores e válvulas de controlo foram devidamente verificados e calibrados antes da realização dos ensaios experimentais.

Os instrumentos FF foram reunidos num (único) segmento H1 alimentado com 24 VDC e terminado por uma resistência de 100 Ω em série com um condensador de 100 nF. O barramento H1 foi ligado diretamente a um computador anfitrião (sem passar por um segmento H2) através de uma placa de interface que funciona também como dispositivo de ligação (modelo USB-8486 da National Instruments (NI) [1]). No anfitrião foi instalado o software necessário para configurar e operar o sistema, nomeadamente o programa NI-FBUS Configurator 4.0.1 [2] e o ambiente de desenvolvimento LabVIEW 2011 apetrechado com o módulo DSC (Datalogging and Supervisory Control) [3-4].

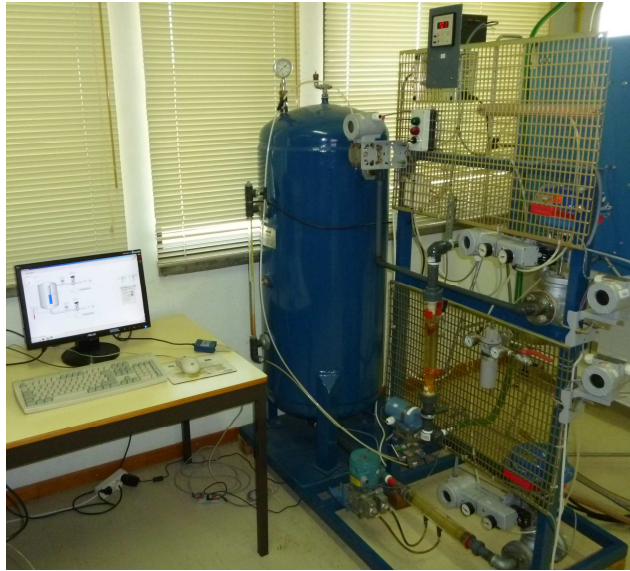


Fig. 1 – Fotografia do processo físico.

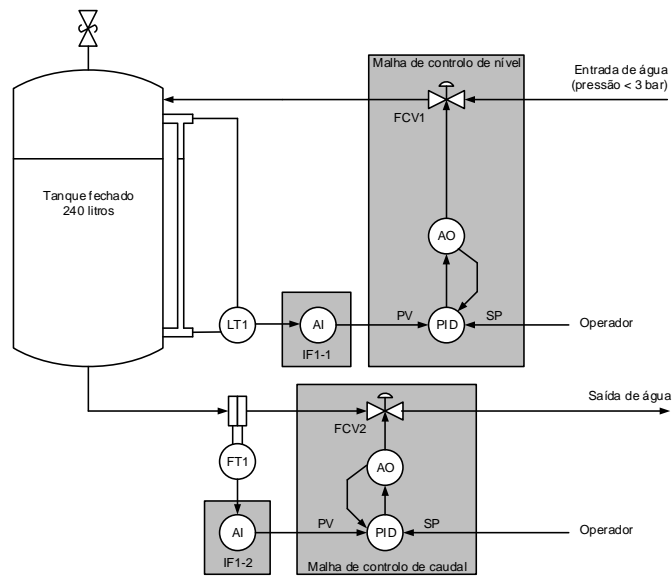


Fig. 2 – Diagrama P&I do processo físico.

Tabela 1 – Instrumentos de campo.

Etiqueta	Fabricante	Referência	Gama	Sinal	Descrição
LT1	Rosemount	D2A12A2S1B4	0 – 100 % (a)	4 – 20 mA	Transmissor de pressão diferencial.
FT1	Fischer Porter	F50DPF110-3	0 – 47,7 l/min	4 – 20 mA	Transmissor de pressão diferencial acoplado a um tubo de Venturi.
IF1	Smar	IF302	4 – 20 mA	FF	Conversor corrente/FF de 3 canais.
FCV1	Smar + Sart von Rohr	FY302 + MA821E63SP0 (b)	0 – 100 %	FF	Posicionador FF acoplado a válvula pneumática.
FCV2	Smar + Sart von Rohr	FY302 + MA821E63SP0	0 – 100 %	FF	Posicionador FF acoplado a válvula pneumática.

Notas:

a) A gama em metros depende das dimensões reais do tanque.

b) A referência FY302 diz respeito ao posicionador da Smar, ao passo que a referência MA821E63SP0 diz respeito à válvula pneumática da Sart von Rohr.

2. CONFIGURAÇÃO DOS INSTRUMENTOS FF

A configuração dos instrumentos FF é muito desafiante porque depende da dinâmica do processo físico e da multiplicidade de opções oferecidas pelos blocos funcionais. A única forma de lidar com este nível de complexidade é utilizando boas as ferramentas de configuração, como é o caso do programa NI-FBUS Configurator.

O trabalho de configuração foi feito online interagindo diretamente com os instrumentos FF. Isto requer paciência (porque o barramento H1 é lento), mas tem a vantagem de permitir corrigir os erros à medida que vão surgindo (depuração incremental). O trabalho foi feito instrumento a instrumento de acordo com o seguinte procedimento:

1. Reinicializou-se o instrumento carregando a sua configuração de fábrica.
2. Atribuiu-se um endereço único ao instrumento dentro do intervalo 16 a 247. Este intervalo é adequado para dispositivos permanentes, com a ressalva de que o endereço 16 é automaticamente reservado pela placa de interface.
3. Criaram-se os blocos de função necessários para o instrumento trabalhar de acordo com a estratégia de controlo.
4. Atribuiu-se uma etiqueta única ao instrumento e a todos os seus blocos funcionais.
5. Editaram-se os parâmetros de cada bloco funcional de acordo com os valores apresentados na tabela 2. Para tal, foi necessário estudar o significado de cada parâmetro e as opções que ele tem para oferecer [5-7].

A placa de interface foi configurada como mestre primário e todos os seus parâmetros foram mantidos nos valores de fábrica. Não foi implementado qualquer mestre redundante.

Feita a configuração do barramento H1, foi chegado o momento de criar uma estratégia de controlo para o sistema. A estratégia, que se encontra ilustrada na figura 3, é constituída por duas secções:

1. A secção superior implementa a malha de controlo de nível. A malha é fechada por um controlador PID que recebe a variável de processo do transmissor de nível LT1 (através do canal 1 do conversor IF1) e escreve a variável de atuação no posicionador da válvula de controlo FCV1. O bloco de função AO realimenta o seu estado (ligação BKCAL) para aumentar a consistência da malha: se a malha for aberta (porque o bloco de função AO passou para modo manual, por exemplo) o controlador suspende a sua ação e segue a abertura da válvula; se a malha for reposta, o controlador retoma a sua ação sem sobressaltos.
2. A secção inferior implementa a malha de controlo de caudal. O seu funcionamento é idêntico ao da malha de controlo nível, com a diferença de que a variável de processo vem do caudalímetro FT1 (através do canal 2 do conversor IF1) e a variável de atuação é escrita no posicionador da válvula de controlo FCV2.

As malhas de controlo são executadas periodicamente: a de nível com um período de 800 ms, e a de caudal (mais rápida) com um período de 400 ms.

Tabela 2 – Configuração dos instrumentos FF.

Conversor corrente/FF IF1, endereço 23				
Bloco funcional	Parâmetro	Valor	Comentário	
IF1_RB (bloco de recursos)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
IF1_TB1 (bloco de transdutor)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
IF1_TB2 (bloco de transdutor)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
IF1_AI1 (bloco de função AI)	XD_SCALE.EU_100	20	Gama de entrada (corrente entre 4 e 20 mA).	
	XD_SCALE.EU_0	4		
	XD_SCALE.UNITS_INDEX	mA		
	OUT_SCALE.EU_100	100	Gama de saída (0 a 100 %). Esta gama está associada ao nível de água no interior do tanque.	
	OUT_SCALE.EU_0	0		
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	L_TYPE	Indirect	A gama de entrada é convertida na gama de saída utilizando uma relação linear.	
CHANNEL	1	Associação ao canal 1 do conversor.		
MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.		
IF1_AI2 (bloco de função AI)	XD_SCALE.EU_100	20	Gama de entrada (corrente entre 4 e 20 mA).	
	XD_SCALE.EU_0	4		
	XD_SCALE.UNITS_INDEX	mA		
	OUT_SCALE.EU_100	47.7	Gama de saída (0 a 47,7 l/min). Esta gama está associada ao caudal de saída de água.	
	OUT_SCALE.EU_0	0		
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	L/min		
	L_TYPE	Indirect Sq Root	A gama de entrada é convertida na gama de saída utilizando uma relação de raiz quadrática (necessária para caudalímetros baseados em pressão diferencial).	
CHANNEL	2	Associação ao canal 2 do conversor.		
MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.		
Válvula de controlo FCV1, endereço 25				
Bloco funcional	Parâmetro	Valor	Comentário	
FCV1_RB (bloco de recursos)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
FCV1_TB1 (bloco de transdutor)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
FCV1_PID1 (bloco de função PID)	PV_SCALE.EU_100	100	Gama da variável de processo (nível de água no interior do tanque entre 0 e 100%).	
	PV_SCALE.EU_0	0		
	PV_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	OUT_SCALE.EU_100	100	Gama da variável de atuação (abertura da válvula FCV1 entre 0 e 100%).	
	OUT_SCALE.EU_0	0		
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	GAIN	6	Ganho proporcional (Kp).	
	RESET	4 Sec	Tempo integral (Ti).	
RATE	4 Sec	Tempo derivativo (Td).		
MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.		
FCV1_AO1 (bloco de função AO)	PV_SCALE.EU_100	100	Gama de entrada (0 a 100 %).	
	PV_SCALE.EU_0	0		
	PV_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	XD_SCALE.EU_100	100	Gama de saída (abertura da válvula entre 0 e 100 %). A gama de entrada é convertida na gama de saída utilizando uma relação linear.	
	XD_SCALE.EU_0	0		
	XD_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	CHANNEL	1	Associação ao bloco de transdutor FCV1_TB1.	
MODE_BLK.TARGET	Cascade	O bloco segue o <i>setpoint</i> dado pelo controlador a montante.		
Válvula de controlo FCV2, endereço 27				
Bloco funcional	Parâmetro	Valor	Comentário	
FCV2_RB (bloco de recursos)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
FCV2_TB1 (bloco de transdutor)	MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.	
FCV2_PID1 (bloco de função PID)	PV_SCALE.EU_100	100	Gama da variável de processo (caudal de saída de água entre 0 e 47,7 l/min).	
	PV_SCALE.EU_0	0		
	PV_SCALE.UNITS_INDEX	L/min		
	OUT_SCALE.EU_100	100	Gama da variável de atuação (abertura da válvula FCV2 entre 0 e 100%).	
	OUT_SCALE.EU_0	0		
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	GAIN	0.5	Ganho proporcional (Kp).	
	RESET	5 Sec	Tempo integral (Ti).	
RATE	1 Sec	Tempo derivativo (Td).		
MODE_BLK.TARGET	Auto	Modo automático.		
FCV2_AO1 (bloco de função AO)	PV_SCALE.EU_100	100	Gama de entrada (0 a 100 %).	
	PV_SCALE.EU_0	0		
	PV_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	XD_SCALE.EU_100	100	Gama de saída (abertura da válvula entre 0 e 100 %). A gama de entrada é convertida na gama de saída utilizando uma relação linear.	
	XD_SCALE.EU_0	0		
	XD_SCALE.UNITS_INDEX	%		
CHANNEL	1	Associação ao bloco de transdutor FCV2_TB1.		
MODE_BLK.TARGET	Cascade	O bloco segue o <i>setpoint</i> dado pelo controlador a montante.		

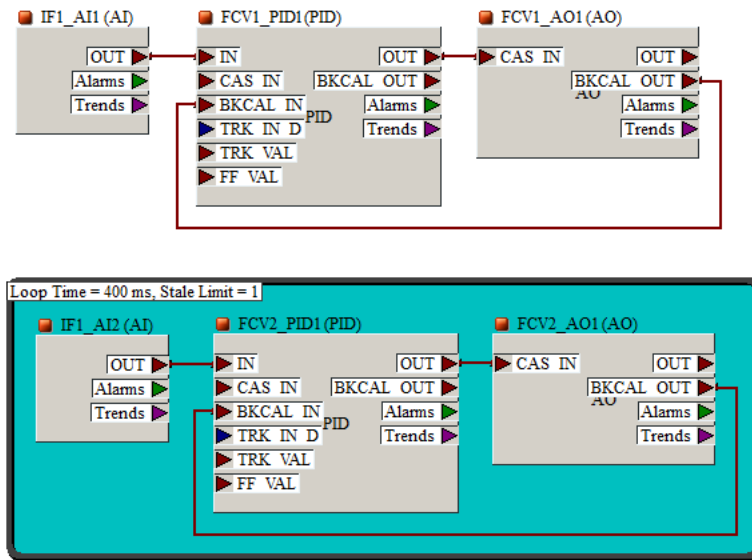


Fig. 3 – Estratégia de controle.

3. PROGRAMA DE SUPERVISÃO

O programa de supervisão permite que a instalação seja operada por pessoas que não são especialistas na tecnologia FF. O programa expõe as variáveis de maior relevo do sistema, ao mesmo tempo que oculta os detalhes de configuração e comunicação.

O programa de supervisão foi desenvolvido em LabVIEW utilizando as funcionalidades do módulo DSC. A comunicação com a infraestrutura FF foi feita utilizando o servidor OPC-DA (Open Process Control – Data Access [8-9]) que acompanha o programa NI-FBUS Configurator. O desenvolvimento foi feito da seguinte forma:

1. Criou-se um cliente OPC com ligação ao servidor OPC-DA. O servidor disponibiliza itens OPC em representação dos parâmetros dos blocos funcionais.
2. Criou-se uma biblioteca de variáveis partilhadas com ligação aos itens OPC de maior interesse (*setpoints*, variáveis de processo e variáveis de atuação). Cada variável partilhada foi configurada em termos de taxa de atualização, banda morta, alarmes (HiHi, Hi, Lo e LoLo), registo em base de dados e permissões de acesso.
3. Criou-se um VI (Virtual Instrument) para fazer a interface com o operador (ver figura 4). Sincronizou-se o VI com o processo físico associando os controlos e os indicadores às variáveis partilhadas criadas de antemão. Na versão atual, o operador pode ler as variáveis de processo e as variáveis de atuação. Pode ainda alterar os *setpoints* de nível e de caudal. Não foi implementada qualquer lógica de tratamento de alarmes.

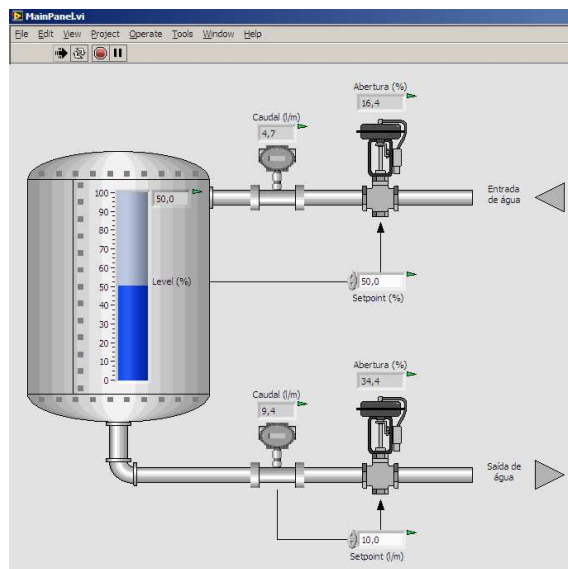


Fig. 4 – Programa de supervisão.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As duas malhas de controlo foram submetidas a ensaios experimentais para avaliar o seu comportamento dinâmico. Durante os ensaios foram registados o *setpoint*, a variável de processo e a variável de atuação de cada controlador, num total de seis variáveis. A metodologia de ensaio foi a seguinte:

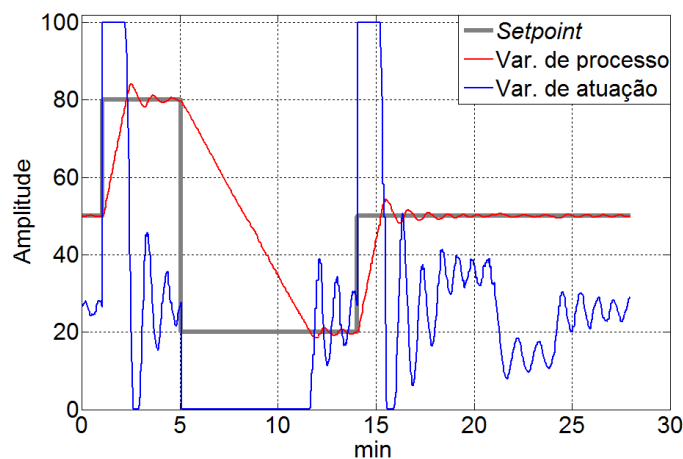
1. Os controladores PID foram sintonizados de antemão utilizando o método tentativa/erro. O controlador de nível foi configurado com ganho proporcional $K_p = 6$, tempo integral $T_i = 4$ s e tempo derivativo $T_d = 4$ s. O controlador de caudal, por seu turno, foi configurado com $K_p = 0,5$, $T_i = 5$ s e $T_d = 4$ s.
2. A instalação foi inicializada com *setpoints* de nível e caudal de 50% e 10 l/min, respetivamente. Aguardou-se o tempo necessário para que todas as variáveis estabilizassem.
3. Iniciou-se o registo de dados no instante $t = 0$ min.
4. Alterou-se o *setpoint* de nível para 80%, 20% e 50% nos instantes $t = 1$ min, $t = 5$ min e $t = 14$ min, respetivamente.
5. Alterou-se o *setpoint* de caudal para 15 l/min, 5 l/min e 10 l/min nos instantes $t = 18$ min, $t = 21$ min e $t = 24$ min, respetivamente.
6. Encerrou-se o registo de dados no instante $t = 28$ min.

Relativamente ao controlador de nível (ver figura 5a), os dados recolhidos merecem os seguintes comentários:

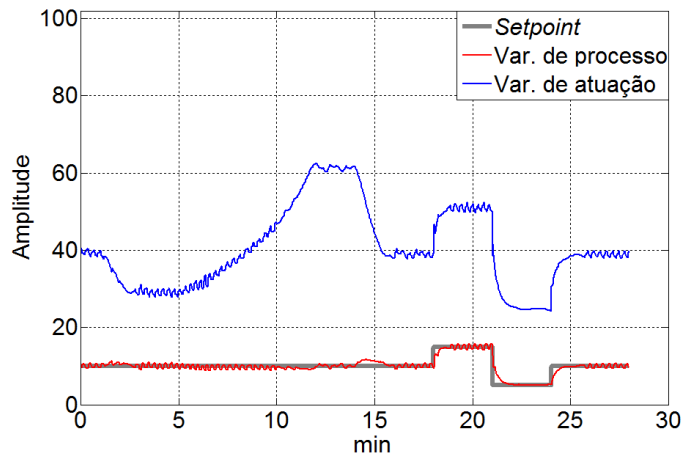
- Nos instantes $t = 1$ min e 14 min, o controlador abre a válvula FCV1 para fazer subir o nível. A resposta tem uma pequena sobre-elevação e estabiliza ao fim de 1 min (aproximadamente).
- No instante $t = 5$ min, o controlador fecha a válvula FCV1 para fazer descer o nível. A resposta tem uma sobre-elevação quase impercetível e estabiliza quase imediatamente.
- O controlador é insensível às variações de caudal devido, sobretudo, à grande capacidade do tanque.
- O controlador de nível possui boa capacidade de seguimento, pequena sobre-elevação, rápido estabelecimento e boa imunidade às perturbações externas (em particular as perturbações causadas por variações de caudal).

Relativamente ao controlador de caudal (ver figura 5b), a análise é similar:

- Nos instantes $t = 1$ min e 14 min, o caudal sofre um ligeiro aumento (provocado pela subida do nível) que é rapidamente anulado pelo controlador.
- Entre os instantes $t = 5$ min e $t = 12$ min, o controlador abre a válvula FCV2 para compensar a perda de caudal provocada pela descida do nível.
- Nos instantes $t = 18$ min e $t = 24$ min, o controlador abre a válvula FCV2 para aumentar o caudal. A resposta não tem sobre-elevação e estabiliza ao fim de 1 min (aproximadamente).
- No instante $t = 21$ min, o controlador fecha a válvula FCV2 para diminuir o caudal. Tal como anteriormente, a resposta não tem sobre-elevação e estabiliza ao fim de 1 min (aproximadamente).
- O controlador de caudal possui boa capacidade de seguimento, ausência de sobre-elevação, rápido estabelecimento e boa imunidade às perturbações externas (em particular as perturbações causadas por variações de nível).



(a)



(b)

Fig. 5 – Comportamento das malhas de controle: a) nível; b) caudal.

5. CONCLUSÕES

O artigo exemplificou a utilização da tecnologia FF para controlar uma instalação de cariz industrial. Mostrou-se como se configuram instrumentos FF, como se constrói uma estratégia de controle e como se implementa um programa de supervisão utilizando OPC. Realizaram-se ensaios experimentais para avaliar o comportamento dinâmico de duas malhas de controle interdependentes, uma de nível e outra de caudal. Os controladores mostraram um bom desempenho e tudo funcionou como se esperava. Confirmou-se, mais uma vez, que o FF é uma tecnologia madura, fiável e produtiva no controle de processos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/207760>
- [2] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/1323>
- [3] <http://www.ni.com/labview>
- [4] <http://www.ni.com/labview/labviewdsc>
- [5] Function Blocks Instruction Manual, Smar, 2007.
- [6] IF302 - Triple Channel Current to Fieldbus Converter - Operation and Maintenance Instructions Manual, Smar, 2011.
- [7] FY302 - Fieldbus Valve Positioner - Operation and Maintenance Instructions Manual, Smar, 2012.
- [8] Jurgen Lange, Frank Iwanitz, Thomas J. Burke, OPC – From Data Access to Unified Architecture, 4th Edition, Verlag GmbH, 2010, ISBN 9783800732425.
- [9] OPC Data Access Specification version 3.00, OPC Foundation, 2003.