

Deixar o melhor para o fim Arrancadores suaves, accionamentos de velocidade variável ou ambos?



Juan Sagarduy, Jesper Kristensson, Sören Kling, Johan Rees – Nas aplicações hidráulicas, as bombas centrífugas são accionadas por um motor de indução alimentado directamente da rede.

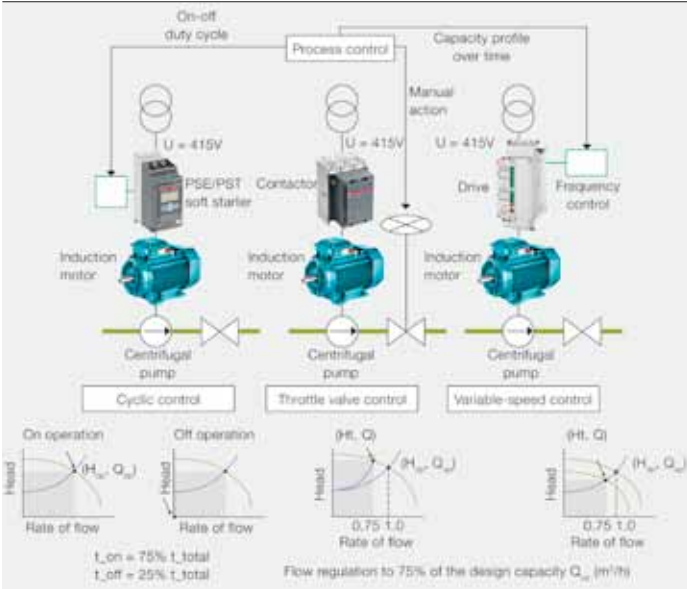
A regulação do caudal é efectuada por diversos meios diferentes, principalmente através do emprego de dispositivos de redução de passagem, um método de muito pouco rendimento, já que as perdas hidráulicas aumentam consideravelmente quando se estrangula a passagem do líquido através de uma válvula; os accionamentos de frequência variável (VFD), recomendados como um meio eficaz para a poupança de energia, garantem a regulação do caudal através do controlo da velocidade de rotação do eixo do motor;

e como alternativa, a activação e desactivação do funcionamento da bomba seguindo um ciclo de trabalho preciso (a bomba não funciona continuamente, mas apenas se conecta durante o tempo necessário para bombear o volume de água pretendido e se desliga o resto do tempo).

Uma vez que muitos sistemas hidráulicos diferentes recomendam a utilização de conversores de frequência ou controlo cíclico (ou seja, tecnologias de arranque suave), qual destas duas soluções é a mais rentável para reduzir o consumo de energia e proporcionar o prazo de amortização mais satisfatório?

1 Ilustração de sistema para os métodos de controlo de caudal com válvula, cíclico e de VFD

2 A gama PSE da ABB utiliza-se principalmente para aplicações de bombagem



Nomenclatura

H_{bep} [m]:	Pressão hidráulica no ponto de melhor eficiência da bomba centrífuga.
Q_{bep} [m³/s]:	Capacidade no ponto de melhor eficiência da bomba.
H_{st} [m]:	Pressão hidrostática total. Define-se como a distância vertical que deve elevar a água à bomba. Quando se bombeia desde um poço, trata-se da distância desde o nível da água de onde se bombeia no poço, até à superfície do terreno, mais a distância vertical que se deve levantar a água desde esta superfície até ao ponto de descarga. Quando se bombeia desde uma superfície de água aberta seria a distância total desde a referida superfície até ao ponto de descarga.
Q_{op} [m³/s]:	Capacidade no ponto de desenho do sistema. Na prática, determina-se com os picos de caudal que se produzem ocasionalmente (ou seja, aproximadamente 5% do tempo nas estações de tratamento de água).
H_{op} [m]:	Pressão hidráulica no ponto de desenho do sistema.
H_{op,id} [m]:	Pressão hidráulica no ponto de desenho de um sistema ideal.
H_t [m]:	Pressão hidráulica associada a uma capacidade genérica Q [m ³ /s] à velocidade constante e regulação de caudal com válvula.
H_d [m]:	Pressão hidráulica associada a uma capacidade genérica Q [m ³ /s] com regulação do caudal de frequência variável.
H_{máx} [m]:	Altura máxima à que se pode elevar o líquido com uma dada bomba.
Q_{máx} [m³/s]:	Capacidade máxima de uma determinada bomba.

A eficiência energética é um aspecto muito importante que os clientes procuram em produtos e sistemas, e algo que os fornecedores se esforçam por melhorar na sua oferta de produtos. De facto, a opinião geral é que o investimento dedicado à aquisição de equipamento, assim como o custo do tempo de paragem correspondente à instalação e à colocação em funcionamento, é compensado por uma diminuição do consumo eléctrico graças a um funcionamento com uma maior eficiência energética.

O compromisso da ABB com a eficiência energética é inquestionável e a empresa dedicou tempo, conhecimentos e recursos para poder oferecer as melhores soluções de baixa tensão do mercado (em forma de conversores de frequência e arrancadores suaves 1), especialmente adequadas para maximizar a poupança de energia nas bombas hidráulicas e as aplicações de tratamento de águas residuais.

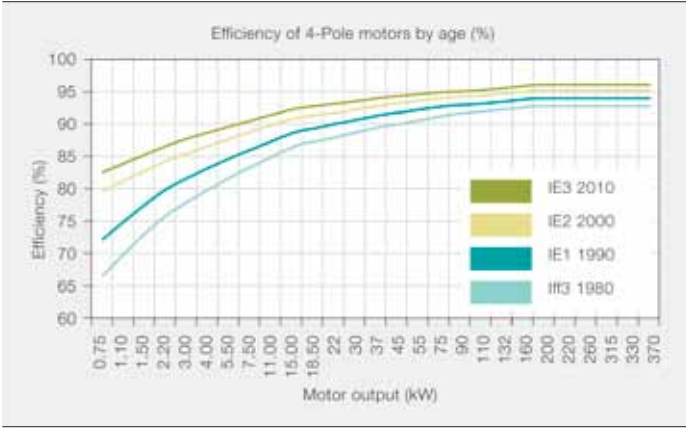
Uma vez que os dispositivos de redução de passagem oferecem um baixo rendimento, qual das duas soluções técnicas, velocidade variável ou controlo cíclico, é a mais rentável desde o ponto de vista da redução do consumo de

energia? - 1. De facto, o factor determinante para seleccionar um ou outro dos métodos de controlo é a natureza dos sistemas hidráulicos onde trabalha a bomba centrífuga.

Por exemplo, no tratamento de águas residuais, a colocação em marcha ou paragem das bombas centrífugas é baseada, em geral, no controlo do processo. As águas residuais (ou seja, os afluentes de zonas residenciais ou edifícios comerciais) são recolhidas normalmente em fossas sépticas ou depósitos de águas residuais até que se bombeiam para as estações de tratamento municipais [1]. Devido aos diferentes eventos que provocam a colocação em marcha, o emprego de arrancadores suaves reduz consideravelmente o risco de bloqueamento da bomba devido à presença de lodos na água - 2. Em geral, o controlo cíclico é uma alternativa atractiva à estratégia de accionamento de frequência variável (VFD) apesar da sua menor flexibilidade na regulação do caudal.

Nota de rodapé:
1 Ao reduzir a tensão aplicada, o arrancador suave permite colocar em marcha os motores AC com suavidade. Durante a paragem da bomba, são evitados golpes de aríete no sistema hidráulico através da redução controlada do binário graças a um algoritmo exclusivo do arrancador suave.

7a Repercussão do tipo de classe no rendimento dos motores



8 Efeito do sobredimensionamento do sistema, a classe do motor e as perdas por harmónicas no consumo de energia eléctrica (Pn = 90 kW – frequência de comutação 4 kHz)

Efficiency drop (%) caused by	Load (%)				
	5%	25%	50%	75%	100%
1 – Oversized pump (by 15%)	-1.3	-3.8	-6.0	-4.5	-2.1
2 – Oversized motor (by 15%)	-3.2	-1.2	-0.4	-3.0	0.2
3 – Motor class (IE1)	-9.5	-3.4	-3.0	-3.0	-3.0
4 – Harmonic loss	-7.0	-2.1	-2.4	-1.9	-1.3
Increase in power consumption (%)	26.5	11.7	13.3	10.3	6.6

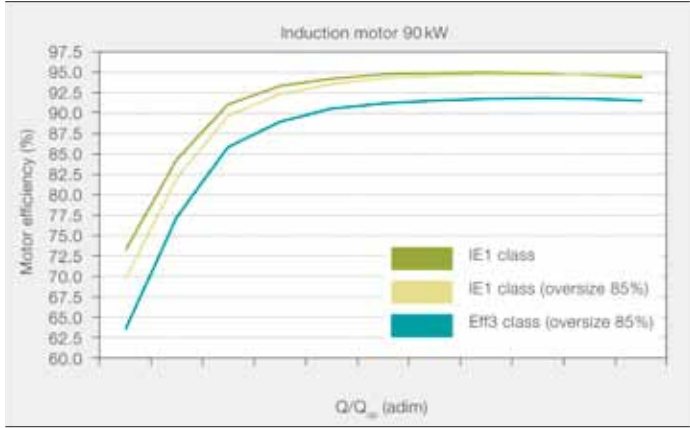
que garantem um elevado rendimento do motor (geralmente superior a 90%) para cargas [3, 4] -7a e - 7b. Esta eficiência (que depende consideravelmente da classe a que pertence) vê-se afectada pelo emprego de um conversor de frequência ou de um arrancador suave: diminui quando a alimentação é efectuada através de um conversor de comutação rápida devido à distorção harmónica de corrente e tensão, mas que não é alterada quando se aplica o bypass ao motor depois do arranque suave devido a um fornecimento puramente sinusoidal.

O impacto do sobredimensionamento do sistema, a classe do motor e as perdas por harmónicas (controlo por VFD) num sistema real aparece em -8.

Poupança de energia

A poupança de energia conseguida utilizando VFD e controlo cíclico num sistema de bombagem de 90 kW e 350 kW é apresentada em -9a e -9b, respectivamente. Nos sistemas de predomínio da carga de fricção (u é 5%), o controlo VFD garante uma maior poupança de energia em quase todo o intervalo de funcionamento (ou seja, entre 7% e 98%) em ambos os sistemas de bombagem. Num sistema de predomínio da altura de elevação estática (u = 50%) e com uma bomba de 90 kW, o controlo cíclico é uma solução técnica melhor que o controlo VFD em todos os pontos de trabalho, enquanto para o sistema de 350 kW, o controlo VFD garante uma poupança de energia ligeiramente superior mas apenas entre 75% e 92% da capacidade da bomba. Quando se considera um sistema hidráulico combinado (u = 25%), o controlo VFD apenas garante um benefício económico superior para capacidades da bomba superiores a 28% (para o sistema de 90 kW) e de 24% (para o sistema de 350 kW). De facto, o ganho máximo com o controlo VFD encontra-se entre os 15% e os 20% do intervalo de capacidade.

7b Variação do rendimento do motor com carga hidráulica



O investimento inicial total associado às soluções de VFD e ao controlo cíclico é calculado como o custo do accionamento ou do arrancador suave mais uma percentagem dos custos do ciclo de vida para cobrir os tempos de paragem da produção.

Ao contrário dos conversores de frequência (caracterizados por perdas nos semicondutores com a carga nominal), os arrancadores suaves funcionam no estado de bypass com carga nominal -9c. Desta forma, não se consideram perdas adicionais nos tiristores. São apresentadas em -102 as condições de funcionamento e do sistema quando a solução seleccionada para a regulação do caudal da bomba é o controlo cíclico ou VFD.

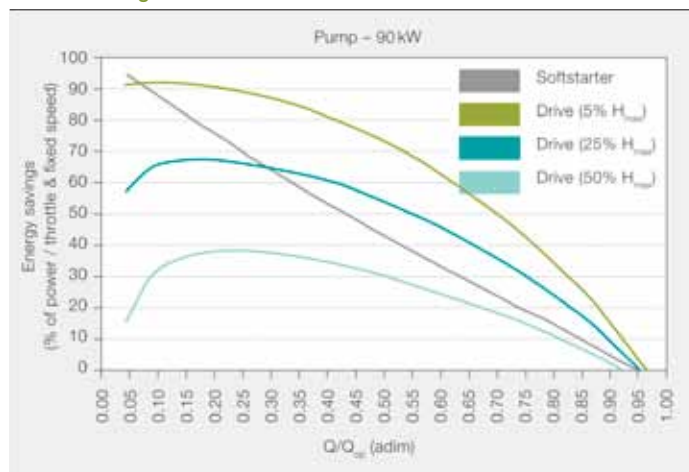
Rentabilidade do investimento

Os clientes querem inevitavelmente saber quando podem esperar que o seu investimento seja rentável, o que inclui os custos adicionais ocasionados pelos tempos de imobilização da produção enquanto se instala e se coloca em serviço o accionamento ou o arranque suave.

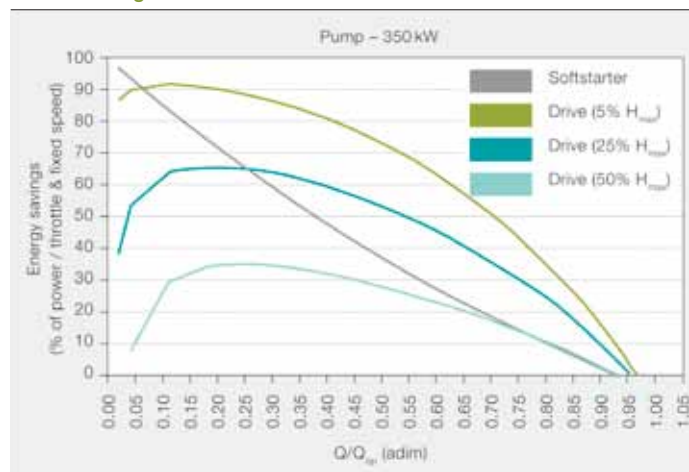
Para bombas com uma potência nominal de 25 kW, a relação de preços do conversor com o arrancador suave é de três aproximadamente e atinge um valor próximo de cinco para bombas de 350 kW [6]. O investimento inicial total associado às soluções de VFD e controlo cíclico é calculado como a soma do custo do accionamento ou do arrancador suave mais uma percentagem dos custos do ciclo de vida para cobrir os tempos de paragem da produção [7]. Para ambas topologias de electrónica de potência, utiliza-se um valor de 7,5%.

Nota de rodapé
2 A conversão de percentagens de poupança de energia (em comparação com a velocidade fixa e o controlo por válvula) em benefícios económicos, supõe que a bomba irá trabalhar durante 8.760 horas por ano (330 x 24) com um preço de 0,065 dólares por kWh de electricidade [5].

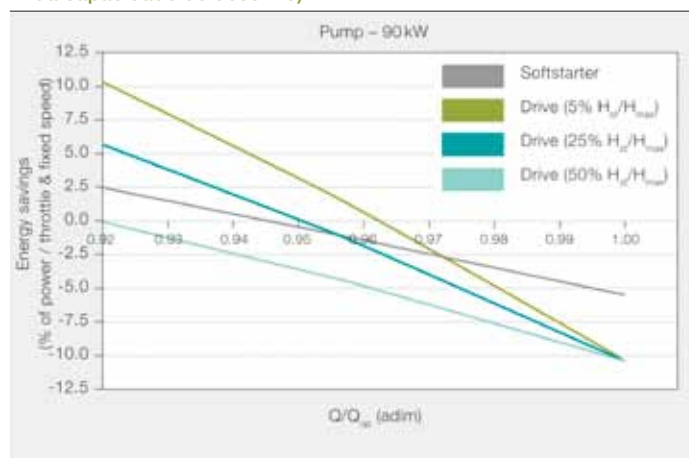
9a Poupança de energia [%] de VFD e controlo cíclico no sistema de bombagem de 90 kW



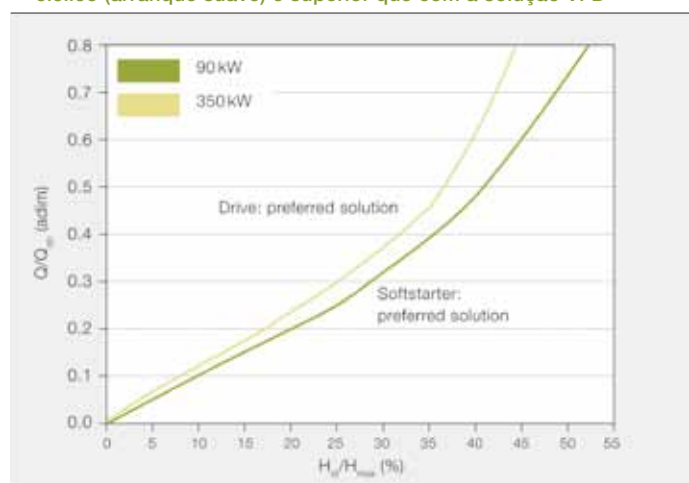
9b Poupança de energia [%] de VFD e controlo cíclico no sistema de bombagem de 350 kW



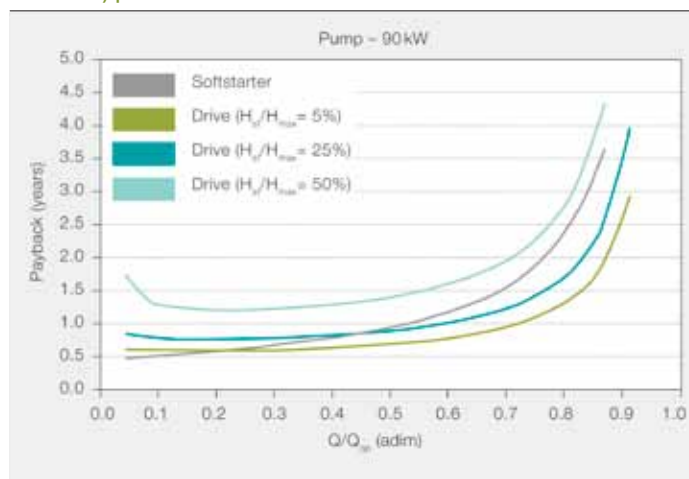
9c Rendimento óptimo da bomba de 90 kW graças à capacidade de derivar o arranque suave com cargas elevadas (90%-100% da capacidade de desenho)



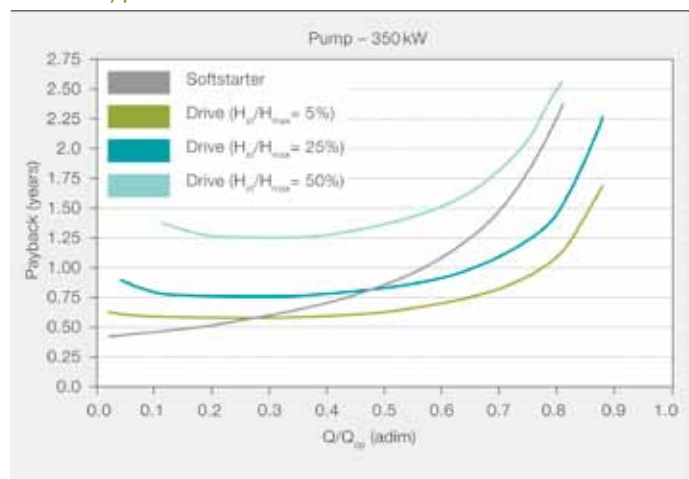
10 Ponto de inflexão onde a poupança económica com o controlo cíclico (arranque suave) é superior que com a solução VFD



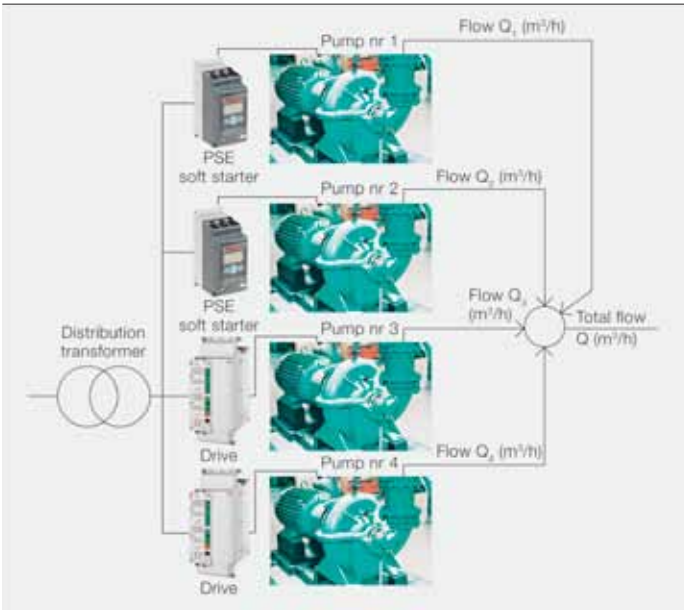
11a Prazo de amortização de soluções de VFD e cíclico (arranque suave) para a bomba de 90 kW



11b Prazo de amortização de soluções de VFD e cíclico (arranque suave) para a bomba de 350 kW



12 Solução recomendada de electrónica de potência para um sistema de quatro bombas em paralelo (sistema hidráulico dominado pela fricção)



13 Esquema de controlo de caudal num sistema de quatro bombas em paralelo (dominado pelas perdas por fricção)

	Pump 1	Pump 2	Pump 3	Pump 4
PE	Softstarter	Softstarter	Drive	Drive
Flow control	Cyclic	Cyclic	VFD	VFD

Flow Q(m³/h)	Pump 1	Pump 2	Pump 3	Pump 4
0-1,130	On-off (0-22.5%)	On-off (0-22.5%)	Off	Off
1,130-2,500	Off	Off	On (22.5-50% Pn)	On (22.5-50% Pn)
2,500-4,740	On-off (27.5-45%)	On-off (27.5-45%)	On (22.5-50% Pn)	On (22.5-50% Pn)
4,740-5,790	On-off (60%)	On-off (60%)	On (35-85% Pn)	On (35-85% Pn)
5,790-8,000	On-off (75%)	On-off (75%)	On (70-85% Pn)	On (70-85% Pn)
8,000-10,000	By-pass	By-pass	On (60-100% Pn)	On (60-100% Pn)
Higher than 10,000	By-pass	By-pass	On (> 100% Pn)	On (> 100% Pn)

O custo dos componentes individuais pode variar por diversas razões. Em primeiro lugar, os VFD de baixa tensão trabalham mais de forma contínua em vez de paragens e arranques, permitindo um controlo mais eficiente. No entanto, empregam transistores bipolares de porta isolada (IGBT) e devem ser desenhados com capacidade suficiente de refrigeração, o que os torna mais caros quando comparados com os arrancadores suaves da mesma potência nominal. Por outro lado, os arrancadores suaves, que trabalham em intervalos de tempo reduzidos de até 15 segundos incorporam tiristores potentes e de custo competitivo e beneficiam de uma refrigeração natural.

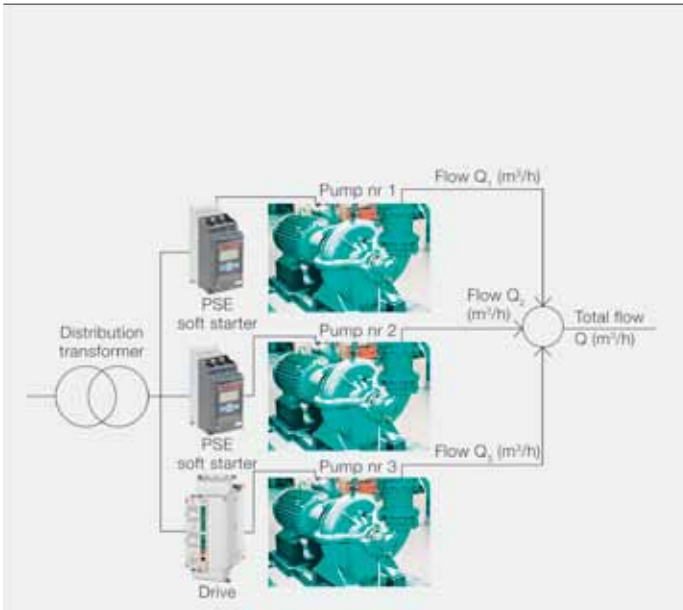
Os prazos de amortização para o VFD e o controlo cíclico do caudal são apresentados em -11a e -11b para as bombas de 90 kW e 350 kW respectivamente nos três sistemas hidráulicos: $\nu = 5\%$, 25% e 50%.

Soluções com sistemas de bombas em paralelo

Em muitos sistemas hidráulicos, pode-se conseguir uma poupança de energia ótima com uma boa rentabilidade do investimento usando soluções com bombas em paralelo que combinam accionamentos e arranques suaves.

Por exemplo, num sistema hidráulico com predomínio de fricção ($\nu = 5\%$), uma solução de electrónica de potência

14 Solução recomendada de electrónica de potência para um sistema de três bombas em paralelo (sistema hidráulico dominado pela pressão estática/fricção)



recomendada para um sistema de quatro bombas em paralelo [cada uma delas com uma potência nominal de 350 kW (2.500 m³/h)] é composta por dois conversores e dois arrancadores suaves -12. O esquema que proporciona a solução ótima relativamente a amortização e funcionalidade do controlo, equipa as bombas 1 e 2 com arrancador suave e as bombas 3 e 4 com um conversor de frequência -13. As bombas equipadas com arrancador suave estão directamente ligadas à rede com capacidade elevada. Ao aumentar a velocidade de rotação num intervalo predefinido (acima de 50 Hz), as bombas accionadas com conversores podem proporcionar um pico de caudal se for necessário ocasionalmente.

Num sistema hidráulico misto ($\nu = 5\%$), a combinação que proporciona a solução ótima no que se refere a tempo de amortização e funcionalidade de controlo, utiliza três bombas, as duas primeiras equipadas com arrancadores suaves e a terceira com um accionamento -14 e -15.

Para ambos os sistemas, o investimento inicial em soluções de electrónica de potência traduz-se em benefícios económicos em menos de um ano e meio, com o caudal regulado a menos de 80% da capacidade total -16.

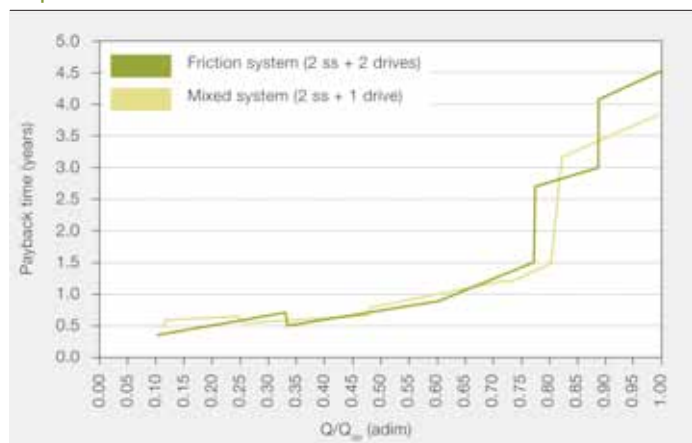
Nota de rodapé

3 Para a regulação ótima do caudal em sistemas em paralelo, faz-se trabalhar uma só bomba até um ponto crítico onde se alcança o caudal pretendido, após o que as bombas partilham simultaneamente a carga hidráulica [8]. Quando se atinge um segundo ponto crítico, entram em serviço três bombas e assim sucessivamente.

15 Esquema de controlo de caudal num sistema de três bombas em paralelo (sistema hidráulico misto)

	Pump 1	Pump 2	Pump 3
PE	Softstarter	Softstarter	Drive
Flow control	Cyclic	Cyclic	Variable frequency
Flow Q(m³/h)			
0-2.500	On-off (0-50%)	On-off (0-50%)	off
2.500-4.500	On-off (30-60%)	On-off (30-60%)	On (40-60% Pn)
4.500-5.760	On-off (60-75%)	On-off (60-75%)	On (60-80% Pn)
5.760-6.630	By-pass	On-off (75%)	On (55-90% Pn)
6.630-7.500	By-pass	By-pass	On (35-100% Pn)
> 7.500	By-pass	By-pass	On (> 100% Pn)

16 Prazo de amortização estimado para duas instalações compostas por bombas em paralelo e diferentes soluções de electrónica de potência



A melhor solução?

Foi analisada a fiabilidade da regulação cíclica do caudal e velocidade variável em aplicações de bombas centrífugas para duas bombas (de 90 kW e 350 kW) no intervalo de baixa tensão. Os dados mostram que o controlo de frequência variável é a melhor solução nos sistemas hidráulicos com predomínio das perdas por fricção (transporte de líquido sem diferença de alturas) e o controlo cíclico é recomendado para sistemas com predomínio da altura de elevação estática. Deve evitar-se o controlo de velocidade em sistemas com configuração muito plana de bomba e carga, já que existe o risco de instabilidade e danos na bomba [9].

Os arrancadores suaves são uma solução técnica muito competitiva, especialmente para aplicações hidráulicas e de águas residuais onde seja usual a colocação em marcha e paragem regulares para esvaziar um depósito e bombear líquido para tratamento posterior. Tratam-se de equipamentos potentes, com boa capacidade de bypass e com algoritmos de controlo exclusivos para sequências de arranque ("kick boost") e paragem (sem golpe de aríete).

No entanto, é possível conseguir uma poupança de energia óptima e bons tempos de amortização para uma grande diversidade de sistemas hidráulico usando configurações de bombas em paralelo que utilizam combinações de accionamentos e arrancadores suaves -17.

A ABB reafirma o seu compromisso com a eficiência energética garantindo ao mesmo tempo o valor adquirido pelo cliente, com base nos seus conhecimento e na sua sólida

17 Sistema de bombas de uma estação de tratamento de águas (dominado pelas perdas por fricção)



gama de produtos de automação de baixa tensão.

Referências:

- [1] ITT Industries (2007). ITT's Place in the cycle of water: Everything but the pipes.
- [2] Aurora Pump (Pentair Pump Group) June 1994, United States.
- [3] IEC 60034-31:2009. Rotating electrical machines. Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable speed applications.
- [4] Brunner, C. U. (4-5 February 2009). Efficiency classes: Electric motors and systems. Motor energy performance standards event, Sydney (Australia). www.motorsystems.org.
- [5] Department of Energy (DOE). Energy International Agency (EIA) (June 2009). Average retail price of electricity to ultimate customers.
- [6] Sagarduy, J. (January 2010). Economic evaluation of reduced voltage starting methods. SECRC/PT-RM10/017.
- [7] Hydraulic Institute (August 2008). Pumps & Systems, Understanding pump system fundamentals for energy efficiency. Calculating cost of ownership.
- [8] ITT Flygt (2006). Cirkulationspumpar med våt motor för värmsystem i kommersiella byggnader.
- [9] Vogelesang, H. (April 2009). Energy efficiency. Two approaches to capacity control. World Pumps Magazine.

Para mais informações:

ABB, S.A.

Low Voltage Products

Quinta da Fonte, Edifício Plaza I

Tel: +(351) 214 256 000

Fax: +(351) 214 256 290

marketing.pt@pt.abb.com



Power and productivity
for a better world™

