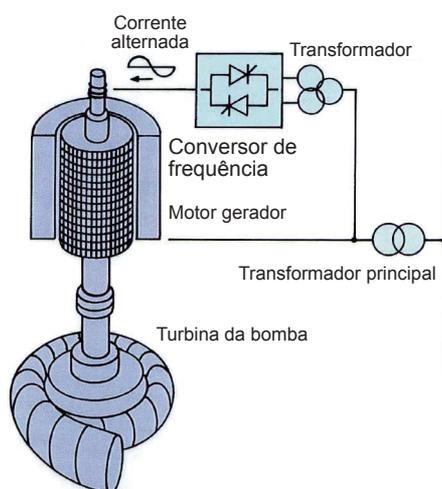


## Usina de Armazenamento Bombeado com Velocidade Ajustável

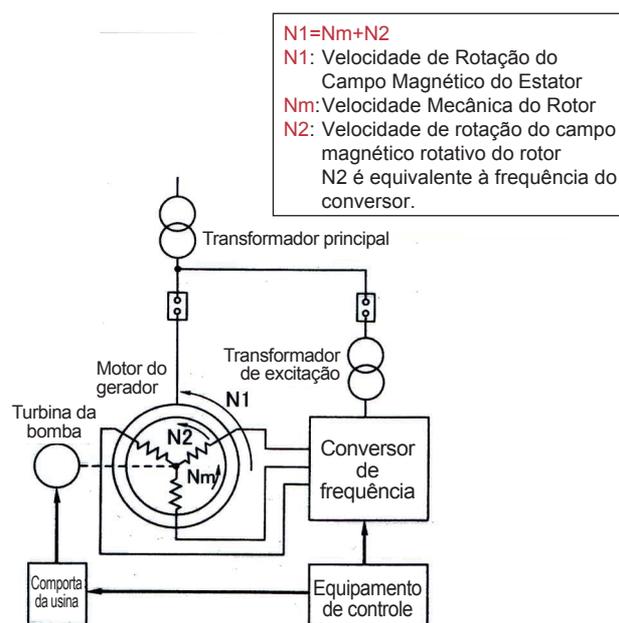
### Características

- ◆ Uma usina de armazenamento bombeado pode acumular uma grande quantidade de energia por um longo período, possibilitando nivelar a demanda de eletricidade e tornando eficiente a operação do sistema de geração de energia como um todo.  
Entretanto, bombas convencionais operam somente a uma determinada velocidade de rotação, não podendo efetuar o controle de entrada (eletricidade) durante o bombeamento.
- ◆ A utilização do sistema de armazenamento bombeado com velocidade ajustável, que permite a mudança da velocidade de rotação da bomba, oferece as seguintes vantagens durante a operação:
  - 1) Graças à possibilidade de controle da energia durante o bombeamento à noite ou quando há pouca sobrecarga, as atividades das usinas termoeletricas convencionais operadas para ajustes de frequência podem ser interrompidas, o que contribui para a operação econômica do sistema de geração de energia elétrica e redução de CO<sub>2</sub>.
  - 2) É possível absorver a flutuação na potência de saída de fontes de energia renovável, tais como as energias eólica e solar, e melhorar, assim, a estabilidade do sistema de energia.  
→ Este processo facilita a promoção de fontes de energia renovável.
  - 3) Operando turbinas a uma velocidade de rotação ótima por ocasião da geração de energia durante o período de carga máxima, é possível melhorar, em especial, a eficiência em cargas parciais.
  - 4) O ajuste instantâneo de potência e de voltagem contribui para estabilizar a flutuação do sistema de energia.

### Descrição Geral ou Princípios do Sistema



**Configuração da Usina de Armazenamento Bombeado com Velocidade Ajustável**



$N1 = Nm + N2$   
**N1:** Velocidade de Rotação do Campo Magnético do Estator  
**Nm:** Velocidade Mecânica do Rotor  
**N2:** Velocidade de rotação do campo magnético rotativo do rotor  
 N2 é equivalente à frequência do conversor.

**Explicação sobre os Fundamentos da Operação de Velocidade Ajustável**

- 1) O rotor do motor do gerador é cilíndrico e conta com bobina de 3 fases.
- 2) A corrente de baixa frequência trifásica flui para o rotor a partir de um conversor de frequência, gerando um campo magnético rotativo no rotor, cuja velocidade de rotação subsequente (N2) é proporcional à frequência de saída do conversor.
- 3) A velocidade de rotação N2 do campo magnético rotativo é acrescida à velocidade de rotação Nm, com a qual o rotor gira, mantendo a sincronização com o campo magnético rotativo N1 do estator no lado estacionário, tendo a relação  $N1 = Nm + N2$ . Em outras palavras, mesmo que a velocidade da unidade seja alterada, a diferença entre as velocidades de rotação síncronica e de rotação do rotor é compensada pelo campo magnético rotativo, assim, a energia produzida pelo estator do motor do gerador pode ser mantida a uma frequência fixa.
- 4) Quando a alteração da velocidade de rotação é de cerca de  $\pm 5$  a 8%, a entrada durante o bombeamento pode ser ajustado para 60% a 100%.

- ◆ Com a possibilidade de interromper a operação das usinas termoeletricas, que estavam sendo utilizadas adicionalmente para ajustar a frequência do sistema durante o período de carga leve como o da noite, poderá reduzir o consumo de combustíveis fósseis como petróleo e carvão.  
Explicação: Para ajustar a frequência do sistema, a produção de energia ou o consumo de energia deve ser ajustado para que a energia gerada seja igual à energia consumida. Nas horas em que a demanda de energia é baixa, como à noite, é suspensa a operação de muitas usinas termoeletricas e hidrelétricas, contribuindo para diminuir as despesas decorrentes de ajuste da produção de energia.
- ◆ Quando a operação é gerada, a unidade pode ser operada na saída de potência mais baixa, alterando a velocidade de rotação, e o intervalo de ajuste da potência de saída pode ser alargado.  
Explicação: Os sistemas de armazenamento bombeado são muitas vezes vistos como reguladores de potência e e podem servir como sistemas de estabilização para fornecer a quantidade necessária de potência para aumentar a produção nos casos em que outras fontes de energia cair involuntariamente no sistema durante a saída de operação mínima. Como os sistemas de armazenamento bombeado com velocidade ajustável podem operar a uma saída menor que os sistemas de armazenamento bombeado de tipo convencional e tem uma gama de ajuste de potência de saída mais ampla entre suas saídas (nominais) mínimo para máxima, o número de unidades operacionais nos sistemas de armazenamento bombeado e a potência necessária para a próxima operação de bombeamento podem ser reduzidos, e espera-se reduzir os custos de combustíveis fósseis e as emissões de CO<sub>2</sub>.
- ◆ Por este motivo, não havia senão proceder à operação com baixa eficiência energética, mantendo a ajustabilidade à oscilação da demanda através da colocação em operação de plurais unidades de queimadores com controlador de potência a trabalharem com potência baixa, mas, com a introdução do sistema de geração hidrelétrica reversível, a ajustabilidade à oscilação da demanda no período noturno passou a ser passível de ser mantida pela elevatória de água, possibilitando assim reduzir o número de unidades em operação na usina termoeletrica acima referida, permitindo reduzir o consumo de combustível fóssil.
- ◆ Reduzindo o consumo de combustíveis fósseis conforme descrito acima, é possível diminuir a produção de CO<sub>2</sub> e obter efeitos econômicos.
- ◆ A adoção de fontes de energia renovável, como a eólica e solar, vem sendo promovida para reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub>. Contudo, devido à utilização de energia natural, a geração pode sofrer flutuações e se tornar instável por causa das condições meteorológicas, entre outros fatores. À medida que a porcentagem do uso de fontes de energia renovável aumenta, torna-se mais difícil ajustar a frequência do sistema. Em especial, nas regiões onde a energia eólica é gerada em grande quantidade à noite, espera-se que esta flutuação possa ser absorvida pelo sistema de armazenamento bombeado com velocidade ajustável, contribuindo, assim, para estabilizar o sistema.
- ◆ Operando a turbina a uma velocidade de rotação ótima durante a geração, é possível melhorar a eficiência em cerca de 3% durante a operação de carga parcial.
- ◆ É possível alterar instantaneamente o ângulo de fase da corrente de saída do conversor usando o controle de vetor, o que permite mudar instantaneamente a energia ativa e reativa de motores do gerador (tanto durante a geração como o bombeamento). Como resultado, passa a ser possível controlar as oscilações de potência do sistema elétrico, assim como as oscilações de tensão, quando estas ocorrem, procedendo ao controle rápido, aumentando ou reduzindo a energia reativa a uma velocidade igualável a um compensador estático de VAR.
- ◆ Como uma variação da usina de armazenamento bombeado com velocidade ajustável, está sendo utilizado também, na prática, o sistema de geração de energia flywheel (volante de inércia) para estabilizar a frequência do sistema. Na ilha de Okinawa, ao sul do Japão, onde o sistema de energia elétrica é independente, a frequência sofria mudanças devido às flutuações na energia que ocorriam no início e na interrupção de operação da fornalha de arco em uma usina siderúrgica. Assim, com a instalação de um gerador flywheel, a frequência do sistema tem sido estabilizada através do armazenamento e fornecimento da energia resultante da flutuação como energia rotativa do rotor e flywheel.

### Implementações Realizadas ou Previstas

- JAPÃO** Companhia de Energia Elétrica de Tóquio  
Usina de Energia Elétrica de Yagisawa, de 85 MVA (1990) (Primeira do mundo a entrar em operação)  
Companhia de Energia Elétrica de Tóquio  
Usina de Energia Elétrica de Shiobara, de 360 MVA (1995)  
J-POWER  
Usina de Energia Elétrica de Okukiyotsu Nº 2, de 345 MVA (1996)  
J-POWER  
Usina Yambaru de Armazenamento Bombeado de Águas do Mar, de 31,5 MVA (1999)  
Companhia de Energia Elétrica de Okinawa  
Subestação da Baía Nakagusuku, de 26,5 MVA com Gerador Flywheel (1996) (Produto aplicado)  
Companhia de Energia Elétrica de Tóquio  
Usina de Energia Elétrica de Kazunogawa, Unidade 4 de 475 MVA (Início da operação comercial desde junho 2014)  
Companhia de Energia Elétrica de Hokkaido  
Usina de Energia Elétrica de Kyogoku, Unidade 1 de 230 MVA (Início da operação comercial desde outubro 2014)  
Companhia de Energia Elétrica de Hokkaido  
Usina de Energia Elétrica de Kyogoku, Unidade 2 de 230 MVA (Início da operação comercial desde outubro 2015)

**Contato:** Toshiba Corporation, Energy Systems & Solutions Company,  
Hydropower Engineering Department  
<http://www3.toshiba.co.jp/power/english/hydro/index.htm>