

A propulsão elétrica

Lagoon 420

O princípio

Grupo gerador 220V 11 KW - 50Hz ou 110V 13,5 KW - 60Hz

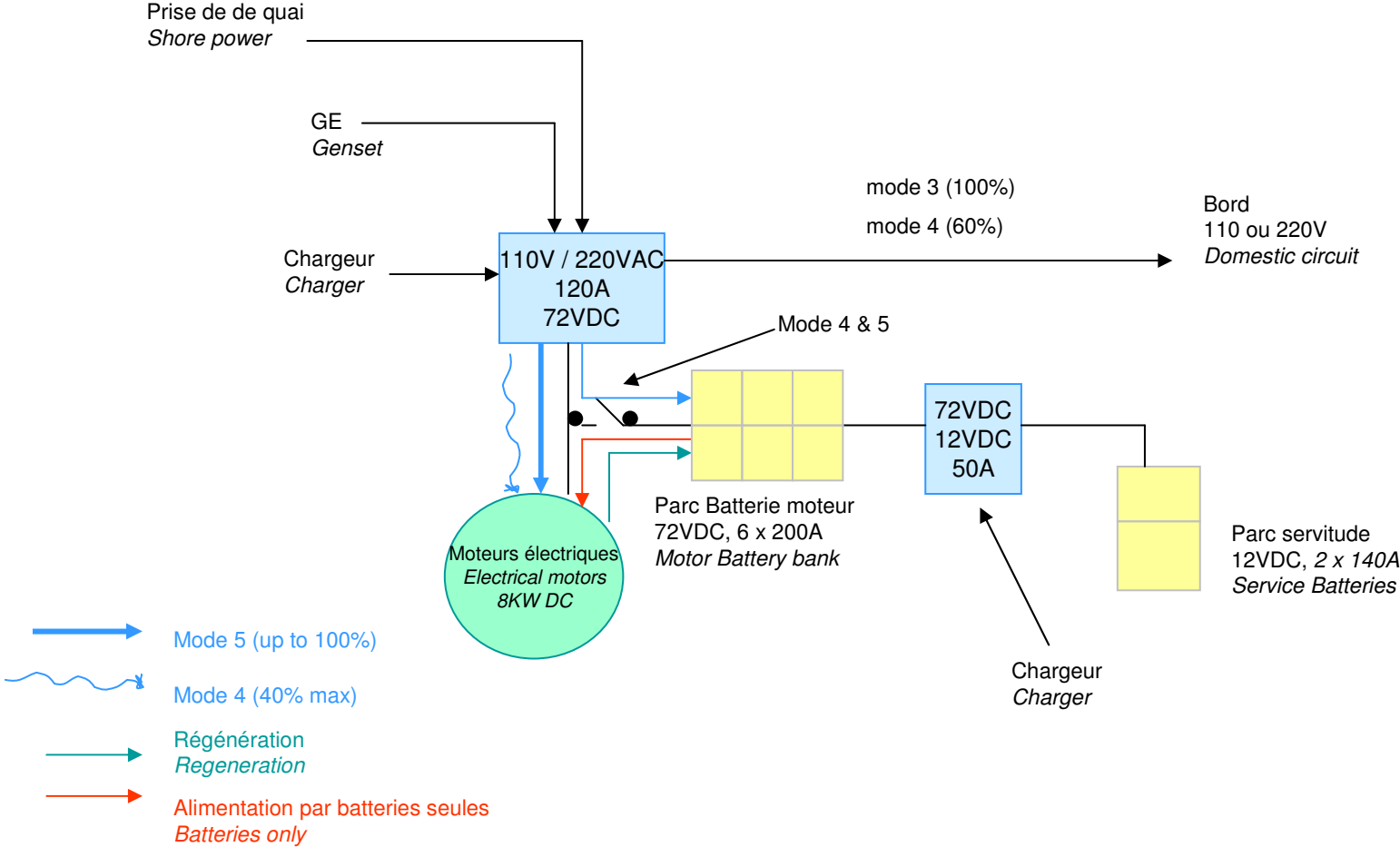
Carregador / Inversor 110V/220V - 72V, 120A

Estocagem da energia em dois bancos, de seis baterias cada, inteiramente dedicadas aos motores elétricos (segurança : em caso de pane de um banco de baterias, o outro pode alimentar um ou dois motores)

Propulsão por dois motores elétricos de 8kW (72Volts) cada

Propulsion électrique LAGGON 420 / Electric Propulsion LAGOON 420

Schéma de principe / Electrical Diagram



O funcionamento

- Barco no cais, baterias carregadas ou em carga.
- Girar a chave de alimentação do gerador que fica na frente da cama de popa a boreste (perto das chaves gerais)
- Girar as duas chaves de alimentação dos motores elétricos que ficam em frente a cama de popa a bombordo.
- A chave do painel elétrico (no salão a boreste) permite a alimentação do sistema de propulsão. As baterias de propulsão alimentam os motores de propulsão. Selecionar o modo de funcionamento no painel elétrico (5 posições) com a chave seletora (vide capítulo : “ Os cinco modos de funcionamento”). Para a propulsão, selecionar as posições 4 ou 5.
- Precisa ativar "ON" no painel de controle no posto de comando : as manetes dos motores funcionam e o barco pode se movimentar, a potência disponível corresponde ao máximo disponível nas baterias. Esta segurança complementar permite desativar a rotação das hélices mas para mais segurança, precisa girar e retirar a chave do painel elétrico. Assim não tem riscos se nadar perto das hélices.
- Quando a capacidade dos bancos de baterias atinge 80% da carga, o gerador liga automaticamente. A potência disponível para os motores de propulsão está limitada na potência do gerador que em paralelo garante também uma carga positiva para as baterias de propulsão e de bordo.
- A potência fornecida por um gerador standard 220V é da ordem de 11kW no modo 4 e passa a 13,5kW no modo 5. Com a opção de gerador de 17,5kW, a potência disponível ultrapassa a demanda.

Nota : o gerador liga automaticamente quando as baterias atingam 80% da carga e desliga automaticamente a cada hora para testar o estado dos bancos de baterias de propulsão. Ele religa automaticamente em seguida se a carga estiver abaixo de 80% ou fica desligado se a carga estiver acima a não ser que tenha uma demanda em 220/110V a bordo.

Os cinco modos de funcionamento

O funcionamento pode ser resumido em 5 situações principais seleccionadas pela chave de modo que fica no painel elétrico.

Modo 1 : energia fornecida pelo cais.

Os consumidores são conectados diretamente a rede do cais. Uma parte da potência é reservada para o carregamento das baterias. O funcionamento dos motores é inibido.

Modo 2 : sem fonte AC : velejando, as hélices giram livremente.

Modo 3 : Gerador funcionando 220V 50Hz (ou 110V 60Hz). Rede de bordo alimentado sem a propulsão. Os consumidores de bordo 220VAC são conectados ao gerador. Uma parte da potência é reservada para a carga das baterias. Os comandos dos motores de propulsão são inibidos.

Modo 4 : Gerador em funcionamento 220V 50Hz (ou 110V 60Hz), propulsão e rede de bordo alimentados : 60% da potência do gerador é reservada para os consumidores de bordo e 40% para a propulsão e/ou carga das baterias de propulsão.

Modo 5 : Propulsão, rede 220V (ou 110V) não alimentado.

Navegação a vela : o gerador liga automaticamente.

Navegação com motores : a energia necessária a propulsão é fornecida pelas baterias. Quando a carga fica insuficiente, o gerador liga automaticamente.

Funcionamento em modo 4 e 5 : regeneração.

- Para não frear o barco em velocidades baixas, o controlador é calibrado para uma velocidade de 4,5 nós, ou seja 150 r/min. Abaixo desta velocidade não tem regeneração, as hélices giram livremente em função da velocidade do barco.
 - A partir de 5 nós, o controlador “freia” a rotação da hélice para gerar energia : com 5 nós, em vez de uma rotação livre de 230 r/min, a hélice é freiada a 150 r/min produzindo ~ 3 Ampères.
 - Até atingir o valor máximo de regeneração (na saída do controlador), a rotação da hélice é limitada em 150 r/min; quando o máximo é atingido, o controlador solta progressivamente a pressão sobre a hélice. O valor máximo é calibrado em 18 Ampères por motor, o que representa uma perda de ~1 nó na velocidade de 9,5 nós.
 - Em alta velocidade (perto de 18 nós), a regeneração é desligada para não sobrecarregar.
- As baterias de propulsão carregam as baterias de bordo através de um carregador/conversor 72/12V de 50 Ampères. Assim as baterias de bordo ficam sempre carregadas e se beneficiam da regeneração quando o barco navega. Ancorado, ou se a demanda for importante, o descarregamento até 80% da carga das baterias de propulsão vão acionar automaticamente o gerador. Os dois bancos de baterias são assim perfeitamente protegidos.**
- **Sempre é possível desligar o modo regeneração com o botão “OFF” do painel do motor ou selecionando os modos 1, 2 ou 3 para não freiar o barco.**
 - **Quando as baterias são carregadas, a hélice é liberada e o sistema testa a necessidade de religar a regeneração conforme a carga das baterias.**
 - **O sistema de regeneração gerencia a carga de forma inteiramente automática (como um carregador de baterias comum)**
 - **A velocidade do barco nunca é freiada em mais de 1 nó.**

Autonomia com baterias

A autonomia com baterias é calculada baseada em uma velocidade de 5 nós com menos de 5 nós de vento (é um veleiro)

A autonomia de 100% a 80% de carga é estimada em 2 horas e meia.

Se o gerador que liga automaticamente quando atingir 80% da carga é desligado, a autonomia suplementar até atingir 60% da carga é de uma hora e meia.

No total são 4 horas de funcionamento com as baterias na velocidade de 5 nós, sabendo que após 2 horas e meia as baterias comencam a se deteriorar.

Com 60% de carga o gerador liga novamente automaticamente para proteger as baterias. Se ele for desligado, ele religa imediatamente até as baterias atingirem a carga máxima. O único meio de impedir o religamento do gerador seria desligar a chave das baterias que fica na cabine de popa no boreste.

Em consequência :

Para uma conservação otimizada das baterias, é aconselhado de não navegar mais do que 12,5 milhas o que é plenamente suficiente para qualquer entrada de porto e manobras para atracar.

Acima de 20 milhas : risco de deterioração dos bancos de baterias.

Performances

A velocidade de cruzeiro com gerador de 11kW é de ~7 nós.

A velocidade máxima com as baterias carregadas a 100% ou com gerador de 17,5kW é de ~8 nós.

LOAD AND CONSUMPTION IN OPERATING MODE 4 & 5

CONTROLLER IN POSITION 5

Motor BATTERIES 100%	
Genset	0 Amps Genset OFF
Motor Batteries	2x150 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Service Batteries	50 Amps 12V For domestic appliances needs
SPEED	7,5 Kts
OPERATING TIME	1h00
Lagoon 420 estimated SPEED	8 Kts
OPERATING TIME	1h00

Genset	2x60 Amps Genset ON
Motor Batteries	2x90 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Service Batteries	50 Amps 12V For domestic appliances needs
SPEED	8,1 Kts
OPERATING TIME	1h00
Lagoon 420 estimated SPEED	8,5 Kts
OPERATING TIME	1h00

CONTROLLER IN POSITION 4

Motor BATTERIES 100%	
Genset	2x16 Amps 72V Motors 1x8 Amps 72V Motor Batteries 1x32 Amps 220V Domestic appliances needs
Motor Batteries	0 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Batteries bord	50 Amps 12V For domestic appliances needs
SPEED	3,5 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS
Lagoon 420 estimated SPEED	4 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS

CONTROLLER IN POSITION 5

Motor BATTERIES 80%	
Genset	2x56 Amps 72V Motors 1x8 Amps 72V Motor Batteries
Motor Batteries	0 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Service Batteries	50 Amps 12V For domestic appliances needs.
SPEED	6 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS
Lagoon 420 estimated SPEED	6,8 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS

CONTROLLER IN POSITION 4

Motor BATTERIES 80%	
Genset	2x16 Amps 72V Motors 1x8 Amps 72V Motor Batteries 1x32 Amps 220V Domestic appliances needs
Motor Batteries	0 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Batteries bord	50 Amps 12V For domestic appliances needs
SPEED	3,5 kts
OPERATING TIME	ENLESS
Lagoon 420 estimated SPEED	4 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS

CONTROLLER IN POSITION 5

Motor BATTERIES 60%	
Genset	2x15 Amps 72V Motors 1x90 Amps 72V Motor Batteries
Motor Batteries	0 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Service Batteries	50 Amps 12V For domestic appliances needs.
SPEED	3,5 Kts
OPERATING TIME	Motor Battery charging
Lagoon 420 estimated SPEED	4 Kts
OPERATING TIME	Motor Battery charging

CONTROLLER IN POSITION 4

Motor BATTERIES 60%	
Genset	2x16 Amps 72V Motors 1x8 Amps 72V Motor Batteries 1x32 Amps 220V Domestic appliances needs
Motor Batteries	0 Amp 72V Motors 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
Service Batteries	50 Amps 12V For domestic appliances needs
SPEED	3,5 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS
Lagoon 420 estimated SPEED	4 Kts
OPERATING TIME	ENDLESS

VALIDATION UNDER PROCESS

ALGUMAS PERGUNTAS

Q.: Com baterias, qual é a velocidade máxima e durante quanto tempo ?

R.: Estimado por cálculo : Baterias carregadas (margem de 60%) > $205 * 0.6 = 123 \text{ Ah}$

Potência disponível = $123 \text{ Ah} * 72\text{V} = 8856 \text{ Wh}$ ---> No final temos 8856 Wh disponível por motor, e uma velocidade de ~6,6 nós. A autonomia depende da velocidade mas no máximo (8kW por motor) a autonomia é de ~1 hora.

Q.: A partir de qual velocidade a regeneração deve ser desligada ?

R.: Está claro para o usuário, o controlador sabe quando tem que ligar e desligar a regeneração.

Q.: Quais potências podem ser transmitidas aos motores e via qual meio ?

R.: O gerador fornece 9,6kW (através do carregador – o gerador fornece 11kW ao carregador que restitue 9,6kW) de potência aos motores.

1 Em funcionamento contínuo 24/24h, o gerador fornece diretamente 9,6kW aos motores, ou seja 4,8kW por motor o que representa uma velocidade de ~7 nós. Pode se desligar manualmente o banco de baterias com os disjuntores 72VDC quando a propulsão está ligada.

2 No máximo dos motores (8kW), as baterias fornecem 3,2kW para cada motor. Em consequência, a autonomia com o gerador junto com as baterias é de no máximo 2 horas e 45 minutos.

3 Em teoria, após 2 horas e 45 minutos na velocidade máxima a tensão das baterias vai cair e a velocidade do barco vai diminuir até a velocidade de equilíbrio citada no ponto 1.

Q.: Vocês afirmem que a rotação é limitada em 660 r/min. Em testes, a velocidade mediada foi de 7,5 nós com 626 r/min e 9 nós de vento de popa. Como é possível atingir 8 nós com somente 34 r/min suplementares ?

R.: Em teoria a pergunta é válida. Mas nesta velocidade tem que levar em consideração a potência e torque disponíveis. Por exemplo : 7,5 nós - 626 r/min – Torque : 78 Nm – Potência motor : 5113,27W. Sabendo que o torque máximo é de 115Nm e a potência máxima de 8000W, temos ainda 36% de potência de sobra. Não pode focalizar na velocidade de rotação do motor, não é um motor térmico.

Q.: Quanto custa a troca dos rolamentos a cada 20.000 horas ? Quem pode fazer ?

R.: Os rolamentos são standard e trabalhamos para que a troca possa ser facilmente executada pelo serviço pós vendas mundial da Leroy Somer.

Q.: Carga do banco de baterias pelo gerador : quantos Ampères ? O carregador precisa ser substituído se for escolhido o gerador de maior potência ?

R.: 120A no modo 5. Com gerador de 17,5kW, instalamos 2 carregadores em paralelo para poder fornecer 19,2kW aos motores sem consumir a energia das baterias.

Q.: O carregador de baterias de propulsão para energia vindo do cais é o mesmo que o carregador de energia vindo do gerador ?

R.: O carregador é o mesmo independente da fonte (cais ou gerador).

Q.: Pode-se instalar hélices bico de pato ? Se afirmativo, quais ? Isto vai alterar as performances com motor ?

R.: Com hélices bico de pato não tem regeneração a não ser com hélices com passo variável reguláveis a partir do bordo. Testes com a marca Autoprop vão ser realizados.

Q.: Sensibilidade dos comandos dos motores : de 1 r/min a 100%

R.: A sensibilidade é comparável a comandos elétricos de motor diesel.

Q. Como percebe-se que o motor está ligado, mesmo a 1 r/min ?

R.: O amperímetro indica que o motor está ligado.

Q.: Tem muito barulho em regeneração ?

R.: Escuta-se a rotação do eixo da hélice cujo ruído é inferior a 46 Dbs

Q.: Os motores esquentam muito ?

R.: Entre 40 e 65°C.

Q.: As baterias Gel são vantajosas em relação a performance e vida útil ?

R.: Não tem manutenção, não tem necessidade de ventilação. Para o resto, elas tem quasi as mesmas características que as baterias tradicionais com ácido.

Q.: Qual é o consumo do gerador de 11kW e 17,5kW com os motores a 100% ?

R.: Consumo de gerador a 100% de potência : 11kW : ~3,4 l/h ; 13,5kW : ~4,5 l/h ; 17,5kW : ~6,1 l/h ; 21,5kW : ~7,2 l/h. São valores teóricos pois o gerador não está sempre solicitado a 100%.

Q. : Como aproveitar a bordo a energia acumulada nas baterias de propulsão por regeneração durante uma travessia ?

R: A energia é imediatamente disponível pois as baterias de bordo são alimentadas pelas baterias de propulsão que são recarregadas pela regeneração ou pelo gerador.

Q. : Porque motores de 72V e não mais ?

R.: O limite de periculosidade para o ser humano é de 80V. Decidimos ficar 10% abaixo deste valor por razões de segurança, além do mais esta voltagem é suficiente.

Q : A potência de 2x8kW é muito fraca para um catamaran deste peso e com grande obras vivas pois as condições de vento não são sempre favoráveis para acessar lugares para ancorar. Mesmo sabendo que com eletricidade a potência pode ser dividida por 2 ?

R : Características medidas com o Lagoon 440 : velocidade 5 nós com mar formado e vento de proa de 25~30 nós. (Características mantidas constantes com os geradores 17,5/21,5kW). A velocidade de rotação de motores térmicos gera muitas perdas (hélices de diâmetro e passo pequeno, vibrações, transmissão, etc...); se for olhar as curvas de arrasto dos cascos percebe-se que os kilowatts téóricos necessários para obter as velocidades desejadas são muito próximos dos valores medidos em barcos de propulsão elétrica. Além disto, limitamos propositalmente a velocidade pois a potência necessária acima de 8 nós cresce exponencialmente. Precisa dobrar a potência para passar de 8 para 9 nós !

Q : O banco de baterias e a autonomia são fracos demais. A superfície do “roof” e do “bimini” poderiam acomodar painéis solares de grande potência mas infelizmente é inútil pois a capacidade do banco de baterias é ridícula. As baterias seriam carregadas muito rapidamente (sobrecarga !) mas descarregadas rapidamente o que necessitaria também o uso intensivo do gerador. Isto seria ridículo. Onde fica o banco de baterias ? É possível aumentar a capacidade com baterias adicionais ou melhor com baterias Golf Cart ou baterias L16 de 6V (problema de altura disponível ?)

R : O banco de baterias foi calculado para uma autonomia de 20 milhas (4 horas a 5 nós). São 2x6 baterias de 12V-210Ah que pesam ~840kg. Sabemos que as baterias serão usadas para sair ou entrar no porto ou em caso de emergência (pane do gerador). O banco de baterias fica na popa. Várias tecnologias de baterias podem ser consideradas. No nosso caso, as baterias escolhidas tem o melhor custo/benefício/volume/potência e disponibilidade internacional. A recarga do banco de baterias é assegurada a partir da velocidade de 5 nós velejando. Com a regeneração temos facilmente 1500 W/h. Com painéis solares, apenas um máximo de 120 W/h/m² para um painel bem exposto e com boas condições de sol podem ser gerados.

Q : A escolha de 72V é surpreendente e única pois no meu conhecimento todos os motores CC concebidos para uso industrial trabalham com voltagem de 120. 250 ou 500V conforme a potência

R : A escolha de 72V não é surpreendente. Como prova, é a mesma voltagem usada pela Estrada de Ferro Francês (SNCF) e a maioria das máquinas de movimentação (empilhadeiras, etc...).

Q : A ideia foi provavelmente tranquilizar os ignorantes falando de segurança com menos de 80V, mas em segurança elétrica é a amperagem e não a voltagem o mais importante. Esta escolha de marketing não está contrária a vida útil ?

R : Para proteção dos usuários é preferível trabalhar com baixa tensão. Não podemos dissociar os riscos oriundos da tensão ou da amperagem pois estas duas variáveis são proporcionais. A tensão máxima para o corpo humano é de 50VAC, a amperagem máxima é de 30mA. Resistência humana : $R = U/I = 50 / 0,03 = 1667 \text{ Ohms}$. Estamos trabalhando com 72V : $I = U/R = 72/1667 = 43\text{mA}$. Mas no caso de corrente contínuo, a amperagem máxima admissível pelo corpo humano é de 130mA (de acordo com fabricante de motor).

Consequentemente a escolha é sensata. Se for trabalhar em 220V : $I = 220/1667 = 131\text{mA}$ o que seria perigoso ! A tensão precisa ser REALMENTE levada em consideração pois ela vai “calibrar” a amperagem.