CDU 621.316.718.5
Variador de Velocidade

O variador electrónico de velocidade em plena expansão em todas as indústrias

(artigo fornecido pelos serviços técnicos da «Telemec») (*)

e) **Conversor de frequência**

Em vez de agir sobre as características do motor, interpondo entre este e a rede um dos dispositivos anteriormente indicados, cria-se uma rede autónoma de frequência e tensão variáveis que, alimentando um motor assíncrono clássico, o fará funcionar às velocidades desejadas.

1) *Conversor rotativo, com alternador*

A fonte motriz pode ser qualquer: motor assíncrono, motor térmico... e variador mecânico, etc.

A excitatriz produz uma tensão proporcional à velocidade e obtém-se assim, à saída do alternador, uma rede de frequência e tensão variáveis.

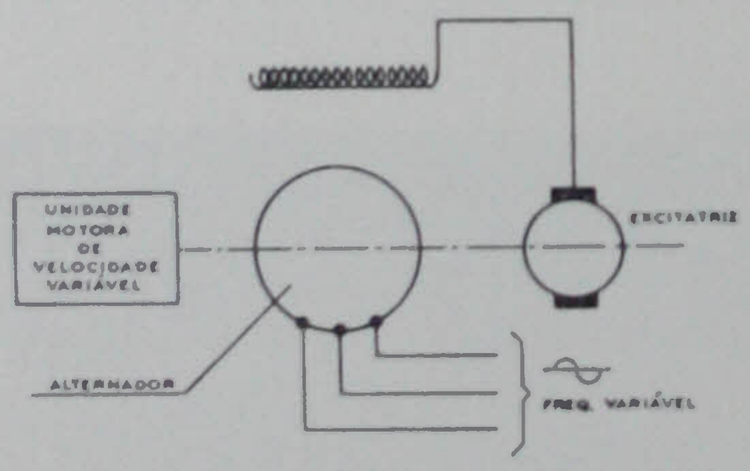


Fig. 9

2) *Conversor rotativo com motor assíncrono de anéis*

A frequência e a tensão que aparecem nos anéis dum motor assíncrono são proporcionais ao escorregamento. Se se obrigar o rotor a girar a uma velocidade *Vr* obtém-se nos anéis uma tensão de frequência proporcional a *Ve-Vr* (*Ve* = velocidade de rotação do campo girante do estator).

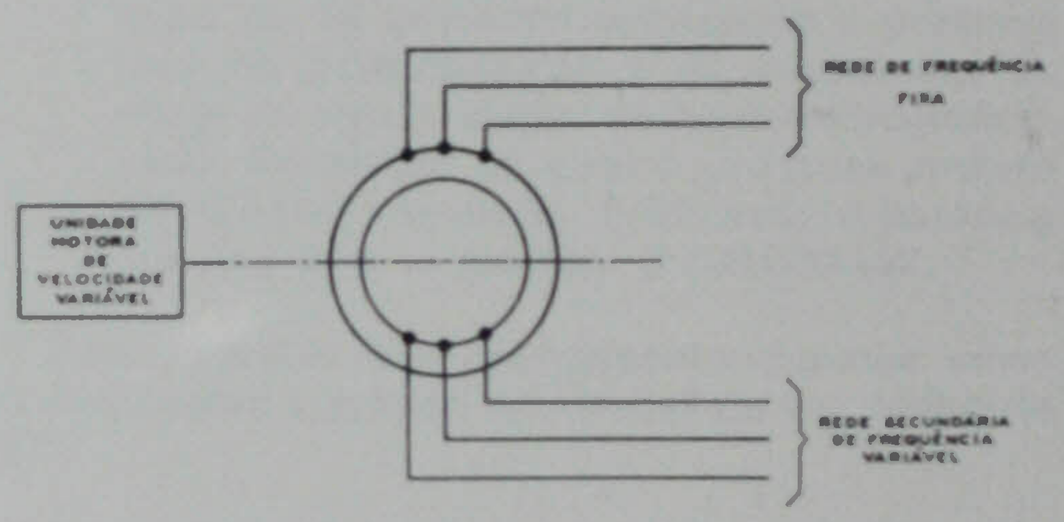


Fig. 10

Estes dois sistemas, teòricamente satisfatórios, apresentam na prática sérios inconvenientes: atravancamento (duas máquinas rotativas), rendimento, possibilidades de aceleração limitadas. Por outro

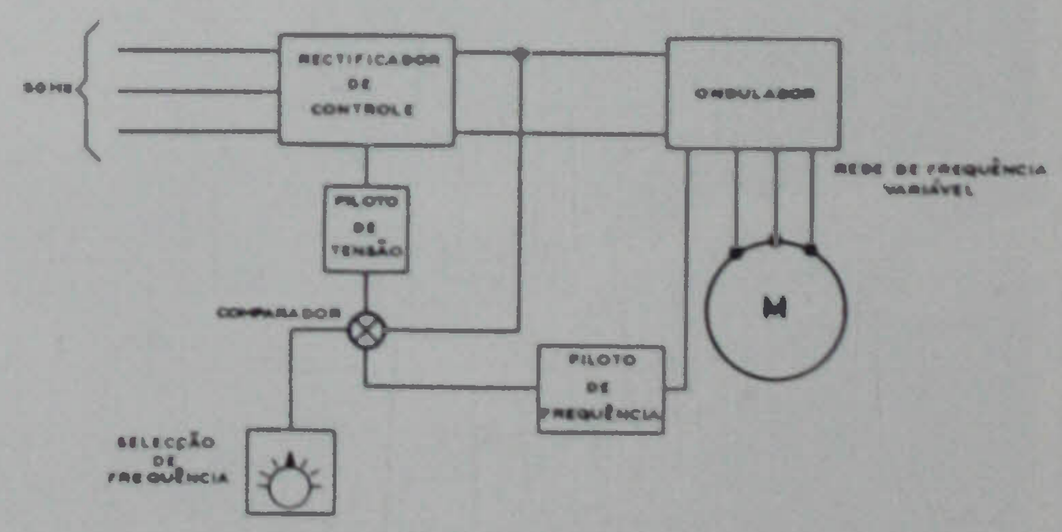


Fig. 11

(*) Conclusão do N.º 77.

lado, o problema da variação de velocidade fica ainda por resolver.

3) *Conversor estático de frequência*

Este dispositivo, relativamente recente, permite obter, de modo inteiramente estático, uma rede autónoma de frequência e tensão variáveis.

Esta solução tem grande futuro e a *Téléméca-nique* prepara uma série destes conversores.

f) Grupo Ward Leonard

Abordamos agora o domínio da variação de velocidade obtida por meio dum motor de corrente contínua e, como este mesmo motor será utilizado como «músculo» do variador electrónico de velocidade, vamos examinar as leis do seu funcionamento.

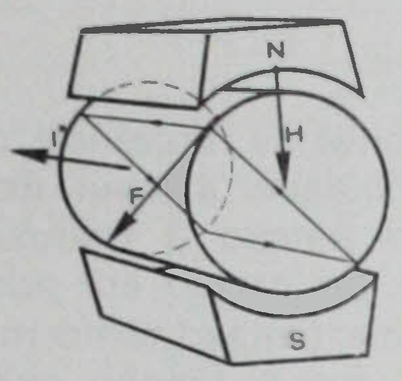


Fig. 12

1) Lei de velocidade, $N = K_1 \dfrac{U - RI}{\Phi}$

2) Lei de binário $C = K_2 \Phi I$

sendo: R = resistência do induzido

I = intensidade da corrente de passagem

Φ = fluxo indutor

Se se mantiver Φ constante verifica-se que N é proporcional a $U - RI$ e C proporcional a I.

Ora, para um motor determinado, há um valor limite de I que não se pode ultrapassar sem risco de avaria. Verifica-se, portanto, que um motor pode fornecer um binário cujo valor máximo é constante e por conseguinte a potência utilizável é directamente proporcional à velocidade.

Observação: Mantendo U e I constante aos bornes do induzido e fazendo variar Φ verifica-se que:

N aumenta quando Φ diminui

C diminui nas mesmas condições

O funcionamento processa-se, portanto, neste caso, a potência constante. No entanto é preciso notar que não se pode ultrapassar, neste modo de funcionamento, uma gama de velocidade de 1 a 3 (enquanto se obtém fàcilmente 50 ou 100 por acção sobre o induzido). Por outro lado não se ganha no motor visto ter de se escolher velocidades nominais baixas e, para uma mesma potência, a dimensão dum motor é inversamente proporcional à velocidade.

Um grupo Ward Leonard compreende:

— um motor assíncrono (ou outra fonte motriz);

— um gerador de corrente contínua alimentando...

— um motor de corrente contínua.

Considerando fixa a velocidade da fonte motriz, o gerador debita uma tensão proporcional à corrente que circula nos seus indutores. O motor, nestas condições e se se mantiver a sua excitação constante, toma uma velocidade proporcional à tensão aplicada ao induzido.

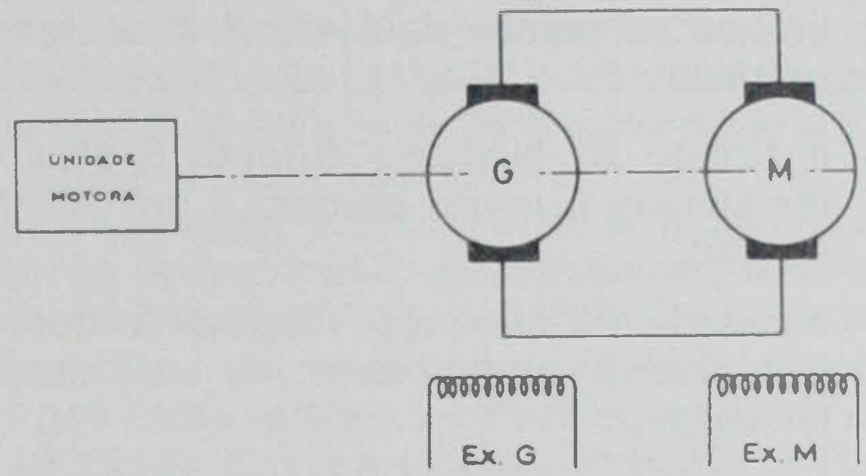


Fig. 13

Pode pois obter-se uma gama de velocidades muito importante jogando com a excitação do gerador (funcionamento com binário constante) e pode prolongar-se esta gama para além da velocidade nominal do motor, agindo sobre o fluxo motor (funcionamento com binário degressivo). Esta solução, bastante prática graças às características das máquinas de corrente contínua, comporta, no entanto, alguns inconvenientes importantes:

— três máquinas rotativas, logo um atravancamento importante e um rendimento bastante modesto;

— necessidade de regulação se for necessária uma certa estabilidade sob variação de carga.

A electrónica vai porém permitir-nos conservar as vantagens do motor de corrente contínua ao mesmo tempo que elimina os seus inconvenientes.

A alimentação electrónica dos motores de corrente contínua

Recordemos os dados do problema a resolver:

a) Conseguir o funcionamento do motor a qualquer velocidade compreendida entre dois limites definidos;

b) Conservar essa velocidade com toda a precisão desejada apesar das variações do binário resistente da máquina a pôr em movimento, as flutuações da tensão da rede ou as variações de temperatura.

Primeiro Problema

Segundo as equações de funcionamento do motor de corrente contínua vemos que, não con-

siderando, por enquanto, a queda óhmica no induzido, é preciso alimentar o induzido do motor sob uma tensão cujo valor médio seja proporcional à velocidade desejada. Obteremos esta tensão, a partir da rede alternada, utilizando uma ponte rectificadora composta de diodos e de tiristores de potência. O funcionamento dos primeiros é bastante conhecido: lembraremos apenas que deixam passar a corrente quando o ânodo é positivo em relação ao cátodo.

Por outro lado descrevamos, ainda que sumàriamente, o funcionamento dum tiristor. É um semi-condutor de quatro camadas comportando, além do ânodo e do cátodo, um eléctrodo de comando.

O tiristor apresenta dois estados de funcionamento estável:

— o estado de bloqueio durante o qual a sua resistência é muito grande: é um interruptor aberto;

— o estado de condução durante o qual a resistência é muito fraca: é um interruptor fechado.

A passagem do estado de bloqueio ao estado de condução (fecho do interruptor) pode ser obtida de diferentes modos, mas para o caso que nos interessa diremos simplesmente que ela se efectua quando a polaridade da tensão aplicada às suas extremidades é tal que o ânodo seja positivo em relação ao cátodo. Um impulso positivo é enviado sobre o seu eléctrodo de comando.

É preciso notar que a condução persiste uma vez que tenha sido provocada, enquanto a polarização ânodo-cátodo não seja invertida.

Utilização do tiristor

Consideremos o esquema elementar aqui representado. Durante uma alternância de polaridade tal que o tiristor possa conduzir, se se enviar o impulso de arranque em α_1, o tiristor conduzirá efectivamente durante o intervalo de tempo α_1 F e o valor médio da tensão aplicada à resistência R será, por exemplo, U_1.

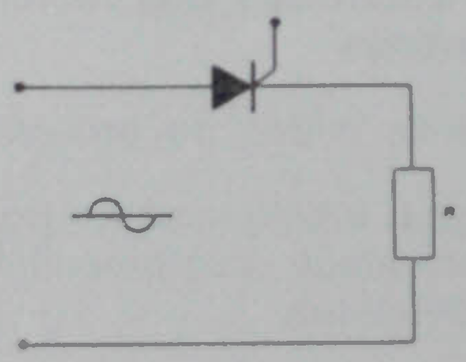


Fig. 14

Se se enviar o impulso muito mais cedo, em α_2, verificaremos que o valor médio da tensão aplicada a R passará a U_2.

Consequentemente, com o tiristor temos um meio de realizar uma tensão cujo valor médio varia fàcilmente, isto jogando com o atraso com o qual o impulso é enviado para o eléctrodo de comando.

Esquema elementar dum variador electrónico de velocidade

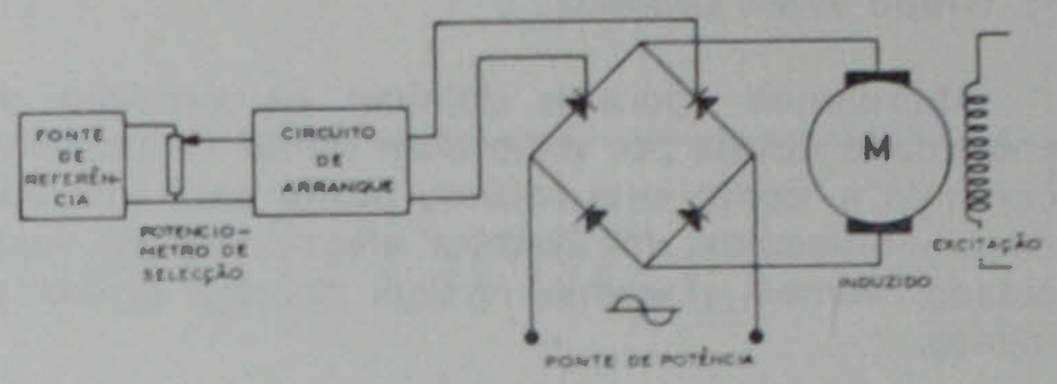


Fig. 15

Tiramos da fonte de referência uma tensão proporcional à velocidade à qual desejamos que o motor gire. Esta tensão é traduzida, no circuito de arranque, por um atraso em relação ao começo de cada alternância (atraso tanto mais fraco quanto mais importante for a tensão seleccionada) e a ponte de potência fornecerá ao motor uma tensão cujo valor médio é proporcional à tensão seleccionada.

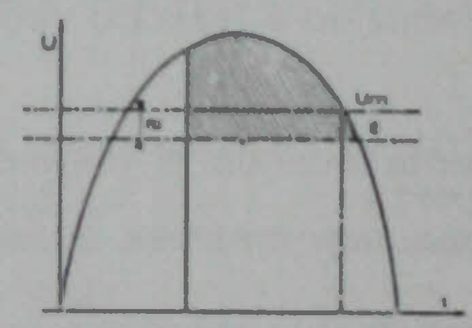
Com efeito tudo isto é demasiado belo para ser verdade!

Desenhamos um esquema um pouco mais realista das tensões e intensidades relativas ao motor.

Verificamos que a área tracejada, indicando a condução, não começa no eixo das abcissas mas sim numa linha marcada E.

Com efeito um motor em rotação não se comporta como uma resistência, ele apresenta uma força contra-electromotriz E e só quando o valor instantâneo da tensão é superior a E o tiristor poderá conduzir.

Por outro lado, não fazemos rodar o motor por prazer mas sim para obter um binário. Para isso ele consumirá uma intensidade proporcional ao binário exigido, determinada pela fórmula $I = \frac{U - E}{R}$.



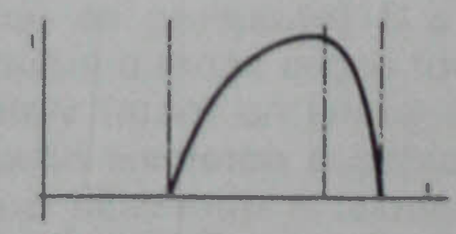


Fig. 16

Isto mostra-nos que para uma mesma velocidade devemos fornecer ao motor uma tensão *U* tanto mais elevada quanto mais importante for o binário pedido. De contrário a qualquer modificação do binário corresponderá uma variação de velocidade.

Nota: Por outro lado, mesmo que se alimente uma resistência é evidente que o valor médio da tensão rectificada não é favoràvelmente proporcional ao ângulo de condução ($180^\circ - \alpha$), seria necessário, para tal, que *U* instantâneo fosse constante e não sinusoidal.

Segundo Problema

Como fazer girar o motor com a velocidade desejada e torná-lo insensível às variações de carga?

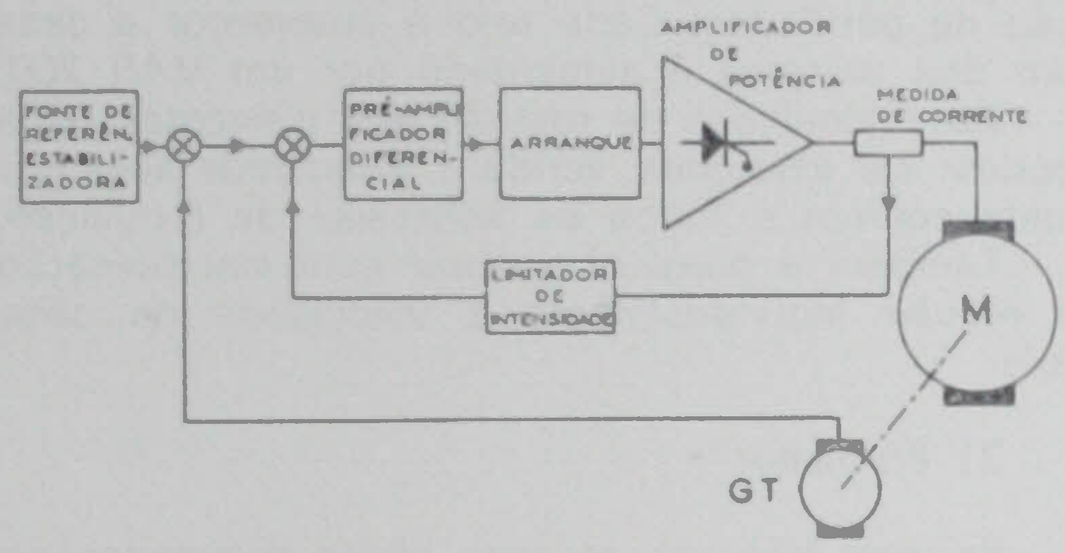


Fig. 17

O princípio de base utilizado é a comparação do sinal da tensão seleccionada, proporcional à velocidade desejada, com um sinal proporcional à velocidade real do motor (fornecido por um gerador taquimétrico impulsionado pelo motor).

É a diferença destas duas tensões que é aplicada à entrada do circuito de arranque; mas atendendo a que quando o motor funciona a uma velocidade muito próxima da desejada o resultado da comparação é muito fraco, amplifica-se aquela antes de a introduzir no circuito de arranque.

Dispomos portanto dum esquema que assegura a concordância da ordem e da velocidade real.

Suponhamos agora que a carga do motor aumenta, tendendo por isso a baixar de velocidade; neste momento o resultado da comparação vai fazer o mesmo, e uma tensão mais elevada será introduzida no sistema de arranque, donde resulta o aumento do ângulo de condução e aceleração do motor até encontrar a sua velocidade concordante com a do valor seleccionado.

Portanto o nosso dispositivo é completo (em teoria) visto que temos a certeza de que, quando fixamos uma velocidade, o motor receberá uma tensão tal que lhe permite atingi-la e que a conservará a despeito das perturbações do binário resistente que possam sobrevir.

Examinemos agora, a título de exemplo, uma realização industrial de variador electrónico de velocidade: o VAR 200 produzido pela «Télémécanique».

Vemos imediatamente que o esquema real, abstraindo de alguns dispositivos de protecção, em particular contra as sobretensões, não é muito diferente do esquema teórico precedente; apenas comporta a mais um circuito limitador de intensidade. O seu objectivo é bloquear o sinal enviado ao circuito de arranque se a intensidade pedida pelo motor exceder um certo valor, regulável, acima do qual haverá perigo de destruição do motor, ou dos semi-condutores de potência.

A «Télémécanique» tem-se esforçado essencialmente por realizar uma electrónica de comando de motor que possa ser posta em serviço pelo utilizador; isto é: simplicidade de ligações e regulações (estas apenas necessitam da utilização dum multímetro clássico), de forma a que a manutenção possa ser assegurada pelo pessoal de serviço de assistência do utilizador: blocos encaixáveis, portanto fàcilmente substituíveis, e munidos de pontos-testes que permitem uma fácil localização de qualquer defeito de funcionamento.

Por outro lado, e para tornar pràticamente nulo o risco do aparecimento de incidentes, o VAR 200 possui componentes de potência largamente dimensionados, um «chassis» suporte robusto e rígido que evita qualquer deformação e um estudo pormenorizado das protecções impedindo pràticamente as sobretensões parasitas de atingir o coração do aparelho. Por fim, e sempre para facilitar a manutenção do VAR 200, os blocos que constituem a electrónica de comando são os mesmos seja qual for a potência do modelo considerado, apenas a ponte de potência difere de um para outro modelo.

Estas qualidades de manutenção são hoje reconhecidas em todas as indústrias utilizadoras visto que cerca de 3000 VAR 200 estão actualmente em serviço ou prestes a ser utilizados.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Gama de variação = 1 a 100.

Variação em função do binário resistente = menos de 3 rot/min para uma variação de binário de 0,2 Bn a Bn.

Variação em função da tensão de alimentação: ± 0,5 % da velocidade seleccionada para ± 10 % de variação na tensão do sector.

Variação em função da temperatura:

— ao nível do «chassis» 5 rot/min por cada 10°C;

— ao nível do motor e da geradora taquimétrica 0,3 % da velocidade seleccionada, por cada 10°C.

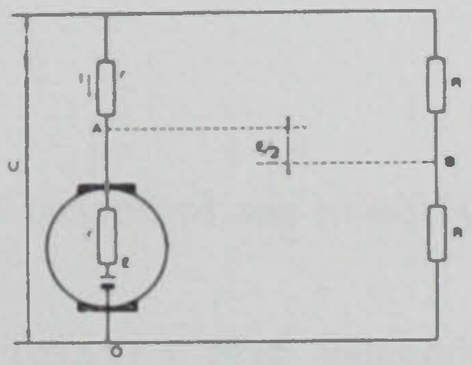


Fig. 18

Para ser completo devemos indicar que é possível dispensar a geradora taquimétrica como fonte do controle de velocidade.

Com efeito, vimos que o valor médio da tensão aplicada ao motor é $U = E + RI$ e que E é proporcional à velocidade. Assim, se soubermos extrair E desta expressão, poderemos servir-nos do resultado desta operação para o comparar com a tensão correspondente à velocidade seleccionada.

Montemos em série com o induzido do motor uma resistência r de valor igual à resistência deste (o qual pode ser considerado como uma resistência r igual à sua resistência de induzido em série com uma força electro-motriz E). Por outro lado, montemos em paralelo sobre o motor e a sua resistência adicional duas resistências R de igual valor.

Temos por um lado: $U_{OA} = E + rI$

por outro lado: $U = E + rI + rI = E + 2RI$

e $$U_{OB} = \frac{E + 2RI}{2} = \frac{E}{2} + rI$$

donde resulta: $$U_{AB} = (E + rI) - \left(\frac{E}{2} + rI\right) = \frac{E}{2}$$

Poderemos portanto utilizar a tensão AB como imagem da velocidade real na comparação com a tensão de regulação que é a imagem da velocidade desejada.

De facto a «compensação da queda ohmica» não pode ser perfeita, quanto mais não seja devido à evolução de temperatura, diferente ao nível da resistência de comparação r e ao nível do induzido, o que vai influir nas «performances»: gama de velocidade 1 a 30.

Variação em função do binário resistente: menos de 3 rot/min para uma variação de binário de 0,2 B_N a B_N.

Variação em função da tensão de alimentação: $\pm$ 4 % da velocidade seleccionada para $\pm$ 10 % de variação da tensão no sector.

Variação em função da temperatura: ao nível do «chassis» 5 rot/min por cada 10°C.

Nada podemos dizer da variação ao nível do motor, porque difere de motor para motor.

GAMA «STANDARD»

O VAR 200 é fabricado em versão monofásica e trifásica para 220 V ou 380 V.

Em monofásica 380 V e para um binário máximo igual a 1,2 vezes o binário nominal, as potências úteis são escalonadas até 9 CV (5 CV em 220 V).

Em trifásica as potências úteis são escalonadas actualmente até 130 CV em 380 V, e 75 CV em 220 V.

Apresentação

O VAR 200 pode ser fornecido sob três formas diferentes:

a) Em «chassis» sem seccionador, fusíveis, contactor.
b) Em «chassis» equipado.
c) Em caixa ou armário.

Opções «Standard»

Detecção de velocidade por G. T.

Detecção por força contra-electromotriz do motor (em $U - R1$).

Rotação nos dois sentidos.

Travagem reostática de paragem ou abrandamento.

Arranque ou passagem duma velocidade a outra.

Exemplos de utilização

1) *Transportador de rolos*

Este transportador deve assegurar a manutenção de perfilados. Cada rolo é automotor e cada um dos motores é alimentado por um VAR 200.

As velocidades de rotação dos diferentes rolos podem ser síncronas, sendo a velocidade seleccionada comum a todos os «chassis» de regulação.

Também é possível quebrar esta sincronização e regular individualmente a velocidade de cada rolo.

2) *Enrolador*

Existem não um só mas vários problemas de enrolamento segundo as condições em que se deve proceder a esta operação.

No caso apresentado a máquina ao realizar o produto impõe a velocidade de passagem. É possível conhecer o raio de enrolamento a cada instante por meio de um apalpador, devendo haver uma tracção constante durante toda a operação, com possibilidade de regulação.

Para se manter a tracção num determinado valor é preciso que o motor exerça um binário que aumente progressivamente e na razão directa do raio de enrolamento.

O apalpador permite-nos conhecer este diâmetro e associa-se-lhe um potenciómetro que dará uma tensão proporcional ao diâmetro e portanto ao binário e ainda à intensidade que deverá atravessar o motor.

Medimos esta intensidade por meio dum «shunt» montado em série com o motor, e é este sinal que comparamos com o que sai do potenciómetro apalpador, cuja diferença alimentará a entrada do préamplificador do VAR 200.

A velocidade do motor ajustar-se-á automáticamente ao valor conveniente para que a intensidade, e portanto o binário motor, siga a lei imposta, fornecendo uma força de tracção constante.

Instalação de dosagem

Para a construção dos revestimentos de estradas é necessário proceder a uma dosagem precisa dos diferentes componentes. Cada tapete transportador é movimentado por um motor alimen-

tado por um VAR 200, fazendo-se a mistura num tapete colector. Várias versões foram realizadas:

— Selecção manual das velocidades de cada tapete e regulação geral de todas as velocidades para modificar o débito total sem variação da dosagem.

— O mesmo que acima mas com uma sinalização de 100 % pondo a operação ao abrigo dum erro de selecção.

— dosagem de peso por meio de básculas de pesagem em contínuo; é a diferença entre o valor seleccionado do peso e um sinal saído de cada báscula que comanda os VAR 200 de comando dos tapetes.

Para terminar não esqueçamos que a selecção da velocidade pode tornar-se automática pela utilização de cartões perfurados correspondendo cada um à dosagem pretendida; deste modo são eliminados todos os erros provenientes da operação.

Entre as inúmeras referências da «Télémécanique», citaremos:

— Sociedade dos Automóveis FIAT — 133 aparelhos
— Bornhauser (centrais de dosagem) — 109 aparelhos
— Cellier (material de papelaria) — 90 aparelhos
— Kléber-Colombes — 69 aparelhos
— Portugal: instalados ou em vias de instalação 110 aparelhos ■