

Corta relva Eléctrico 2009/2010

Orientador: Ing. Vasco Santos

Álvaro Alcalde Grau 11656
Miguel Angel Tris Millán 11655
Victor Latas Guillén 11654

ÍNDICE	Página
1. Definições e abreviaturas	4
2. Objectivo	6
3. Alcance	7
4. Antecedentes	8
4.1. Historia	8
4.2. Tipos	9
5. Análise de soluções	9
5.1. Motores	9
5.1.1. Motores de Indução	9
5.1.2. DC sem escova	13
5.1.3. DC com escova	18
5.1.4. Motores Directdrive ou HUBwheels	22
5.3. Tipos de conversores	24
5.3.1. Lineares	25
5.3.2. Chaveados ou estáticos	25
5.4. CPU	27
5.4.1. Micro processador	27
5.4.2. Micro controlador	29
5.4.3. Sensores	30
5.5. Alimentação	34
5.5.1. Baterias	34
5.5.2. Recarga	37
6. Dimensionamento e seleção de componentes	40
6.1. Motor	40
6.1.1. Massas	40
6.1.2. Forças atuantes	41
6.1.3. Binários	43
6.1.4. Revoluções por minuto necessárias	45
6.1.5. Seleção do motor	45
6.1.6. Parâmetros a dimensionar	47
6.1.7. Corte	48
6.2. Alimentação	49
6.2.1. Baterias	50
6.2.2. Cabos	53
6.2.3. Recarga	55
6.3. Controlador	57
6.4. Soluções mecânicas e estruturais	58
6.4.1. Cabos e ligações	58
6.4.2. Posicionamento dos componentes	58
6.5. Montagem	59
6.6. Rendimento	62
6.7. Autonomia	63
6.8. Tempo de carga das baterias e consumo	64

6.9. Orçamento	65
6.10. Planificação	66
7. Bibliografia e linkografia	67
8. Índice de imagens	68
9. Anexos	70

1. Definições e abreviaturas

BLDC: Do inglês Brushless DC, é chamado assim porque não possui as características escovas dos motores CC normais, e apresenta algumas vantagens respeito a estes últimos.

Carcaça: é a estrutura mecânica exterior em aço ou ferro fundido. A carcaça serve para alojar o circuito magnético o circuito eléctrico e sustentação da parte rotativa, quando esta existir.

Comutador: devido à rotação do eixo, providencia o necessário chaveamento para o processo de comutação. O comutador é constituído por segmentos de cobre, individuais isolados entre si e do eixo, electricamente ligados às bobinas do enrolamento da armadura.

CPU: "Central processing unit", unidade central de processamento. É o processador ou microprocessador que interpreta as instruções e processa os dados contidos nos programas do computador.

Detalhes mecânicos: mecanicamente conectados a carcaça, estão os suportes contendo mancais nos quais o eixo da armadura se apóia, bem como os anéis-suporte de escovas em algumas máquinas.

Eixo da armadura: imprime rotação ao núcleo da armadura, enrolamentos e comutador.

Enrolamento da armadura: é constituído de bobinas isoladas entre si e do núcleo da armadura. É colocado nas ranhuras e electricamente ligado ao comutador.

Enrolamento de campo: consiste de umas poucas espiras de fio grosso para o campo série ou muitas espiras de fio fino para o campo-shunt. Essencialmente, as bobinas de campo são electroímans, cujos ampère-espiras (A_e) providenciam uma força magnetomotriz adequada à produção, no entreferro, do fluxo necessário para gerar uma f.e.m. ou uma força mecânica. Os enrolamentos de campo são suportados pelos pólos.

Escovas e porta Escovas: assim como os interpolos, são parte do circuito da armadura. As escovas são de carvão e grafite, suportadas na estrutura do estator por um suporte tipo anel, e mantidas no suporte por meio de molas, de forma que as escovas manterão um contacto firme com os segmentos do comutador. As escovas estão sempre instantaneamente ligadas a um segmento e em contacto com uma bobina localizada na zona interpolar.

F.c.e.m.: força contraelectromotriz ou tensão gerada num condutor mediante um campo magnético que o atravessa.

Interpolo: : estes pólos auxiliares e o seu enrolamento são montados na carcaça da máquina. Encontram-se localizados na região interpolar, entre os pólos principais, e são geralmente de tamanho menor. O enrolamento do interpolo é composto de algumas poucas espiras de fio grosso, pois é ligado em série com o circuito da armadura, de modo que a f.e.m. seja proporcional á corrente da armadura.

LCD: "Liquid crystal display" écran plana, que se usa para visualizar dados de aparelhos eletrônicos que tem um consumo mínimo de energia.

Microcontrolador: É um circuito integrado ou "chip" que incluía as três funções dum computador: unidade central de processamento, memória e unidades E/S (entrada/saída).

Núcleo da armadura: está ligado ao eixo e é construído por laminadas de material ferromagnético, apresentando uma baixa relutância magnética entre os pólos. As lâminas servem para reduzir as correntes parasitas no núcleo, e o aço usado é de qualidade destinada a produzir uma baixa perda por histerese. O núcleo contém ranhuras axiais na sua periferia para colocação do enrolamento da armadura.

Pólos: são constituídos de ferro laminado e parafusados ou soldados na carcaça após a inserção dos enrolamentos de campo nos mesmos. A expansão polar é curvada, e é mais larga que o núcleo polar, para espalhar o fluxo mais uniformemente.

Sensor: São elementos que detectam manifestações de qualidades ou fenómenos físicos que aproveitam as suas qualidades para adaptar o sinal que medem para que outro elemento o possa interpretar.

Binario: é definido como a tendência do acoplamento mecânico (de uma força e sua distância radial ao eixo de rotação) para produzir rotação. É expresso em unidades de força e distância, como lbf.pé (libra-força por pé), grama.cm, N.m, etc , para distingui-lo do trabalho, que é expresso em pé.lbf, cm.g, etc.

2. Objectivo

O objectivo deste trabalho consiste em realizar uma conversão de um corta-relvas com motor de combustão num corta relvas com motor eléctrico e com uma autonomia sem fios. Para a concretização deste projecto é necessária a realização de um relatório que contém as propostas de diferentes soluções, dimensionamento e selecção dos equipamentos a integrar os resultados práticos/testes.

3. Alcance

O tractor corta-relvas é uma máquina ferramenta utilizada no tratamento e manutenção de espaços com relva de que cumpram com os requisitos que assegurem o correcto funcionamento deste. Em relação aos requisitos é de salientar que deve trabalhar em terrenos que não tenham desníveis superiores ao 20-30% e não sendo recomendado o seu uso em terrenos irregulares e que tenham obstáculos tais como pedras o materiais duros e pequenos. Também se recomenda uma manutenção frequente e cuidada do sistema de armazenamento (baterias), motor e controlador.

Este projecto tem uma fase preliminar de estudo, outra de desenho onde estão os objectivos a cumprir e finalmente a construção e os dados reais/testes do corta relvas.

Também se podem juntar os correspondentes documentos que foram necessários.

Neste caso, este produto está dirigido ao mercado europeu então as medidas estão em km/h e em kilometros, assim como em graus Celsius. São em unidades do sistema Métrico Decimal.

4. Antecedentes

4.1. HISTORIA

CORTA RELVA DE CILINDRO

Um corta relvas é uma máquina, manual ou motorizada, usada para cortar a relva dos céspedes dos jardins, campos desportivos, etc... , de forma a se obter uma tapete de relva de altura informe.

A primeira máquina de cortar relva foi inventada por Edwin Budding (1795-1846) em 1827 na cidade inglesa de Gloucestershire.

Budding foi carpinteiro e inspirou-se num cortador rotativo para cortar lã.

O primeiro corta relvas foi criado para cortar o céspede dos jardins e campos desportivos sem utilizar a pior opção que era a gadanha. Foi patenteado em 1830.

Dez anos mais tarde foi desenvolvida uma máquina movida por tracção animal e sessenta anos mais tarde apareceu uma máquina movida a vapor. Em 1830 foram vendidas licenças e direitos de fabrico e venda a John Ferrabee.

Já em 1859, Thomas Green produziu o primeiro corta relvas com cadeiras e a produção começou em 1860. Para 1962, a companhia Ferrabee comercializava oito modelos de vários tamanhos. Ele construiu aproximadamente 5000 máquinas até que a produção parou em 1863. Em 1870 Elwood McGuire de Richmond, nos USA desenhó um corta relvas movido por uma pessoa. Este corta relva era muito ligeiro e têve muito êxito comercial.

John Burr patenteou um corta relvas com laminas giratórias em 1899 com as posições das rodas trocadas para um melhor funcionamento.

Nos princípios de 1900 a maioria dos corta relvas eram ingleses tinham uma automatização do tipo "Rasomes". Por esta época o operador podia pôr e controlar os animais detrás da máquina.

COM MOTOR

Como os jogos desportivos ficavam em céspede e em superfícies de relva, as máquinas de cortar relva melhoraram. Em 1893 James Summer de Lancashire patenteou o primeiro corta relvas com um motor de vapor. Esta máquina funcionava com um motor que queimava petróleo ou querosene como combustível. A partir desta data numerosos fabricantes começaram a fazer mais corta relvas a motor.

CORTA RELVA DE ROTOR

Os corta relvas com corte de rotor não foram inventados até que os motores foram menores e tiveram potência suficiente para mover as laminas de corte a uma velocidade razoável. Muitas pessoas experimentaram com laminas rotativas no final de 1920 e princípios de 1930 mas não tiveram êxito. A primeira empresa que comercializou corta relvas com êxito foi uma chamada

Victa em 1952. Os corta relvas eram mais ligeiros e fáceis de usar que os corta relvas anteriores.

O nosso corta relvas é chamado também trator de jardim.

Os primeiros protótipos de tractor são dos princípios do século XX , mas o primeiro tractor que teve êxito foi em 1911 nos USA mas na Inglaterra já foi em 1902 e depois em 1908 com um tractor de 4 rodas.

O primeiro tractor a produzir-se em massa foi o chamado Fordson que foi projectado e construído pela marca de Henry Ford em 1917. Este tractor alcançou 77% de tudo o mercado no USA. A partir de 1920 os tractores com motor de combustão interna foram os mais vendidos e fabricados.

TRACTORES DE JARDIM

Os tractores de jardim são pequenos, ligeiros e simples tractores usados para jardins domésticos concebidos para cortar relva e equipados com cobertura de corte rotativo horizontal. Possuíam um motor vertical com uma transmissão por correia do tipo de diferencial (Normalmente com 4-5 marchas).

4.2. TIPOS

POR ROTAÇÃO

- Cilíndricos:

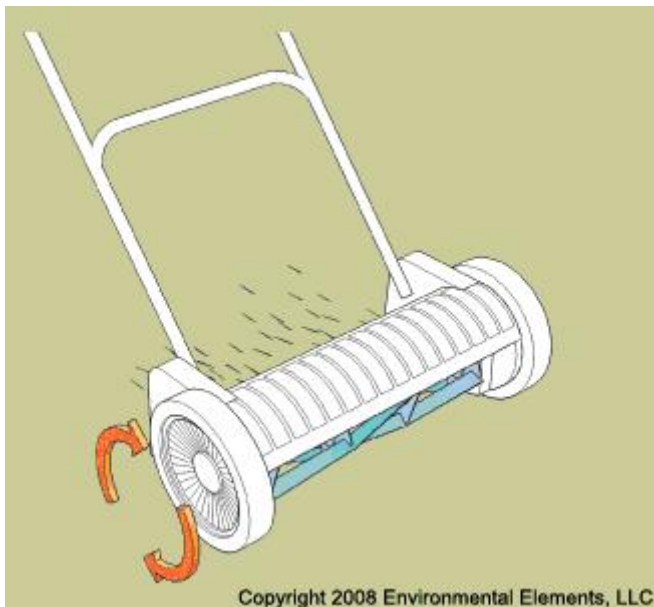


Imagem 1 – Corta relva cilíndrico <http://www.greenandeasy.co.uk/userfiles/image/Cylinder%20Mower%20Diagram.jpg>

- Rotativos:

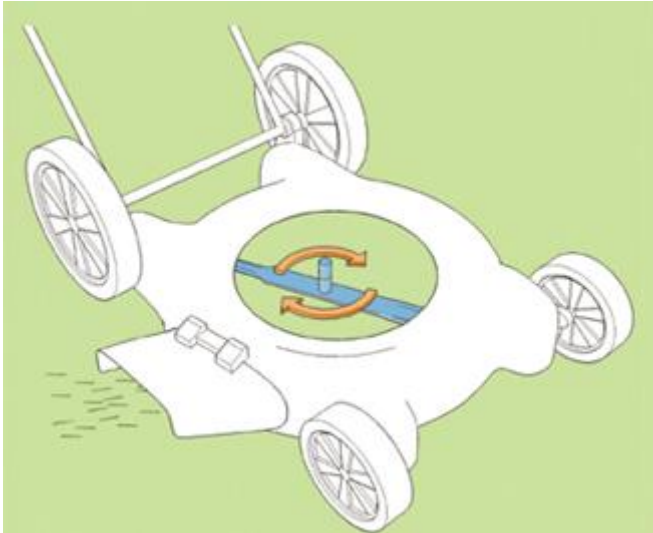


Imagem 2 – Corta relva rotativo <http://learn.ecomowers.com/wp-content/uploads/2009/05/rotary-mower1.jpg>

POR ENERGÍA

- Gasolina:

A maioria dos corta relvas rotativos utilizam motores de combustão interna de gasolina. Os motores podem ser de dois tempos ou quatro tempos. Possuem um cilindro e a potência está compreendida entre 1,6 e os 6,5 kW. Mais potência se forem do tipo trator. A maioria tem um carburador e tem que ser arrancados manualmente.

- Eléctricos:

São mais silenciosos que os de gasolina, menos de 75 décibéis em relação aos 95 dos de gasolina e podem ser alimentados com cabo ou com baterias.

- *Com cabos:* tem menos alcance já que o cabo não é muito longo, uns 50-80 metros e podem ser perigosos para o usuário (rede de 220-230 v) mas são mais baratos, tem maior fiabilidade e contaminam menos.

- *Sem cabos:* a energia será fornecida por umas baterias (de 1 a 4) de 12 v e recarregável. Os corta relvas tem a mesma manobrabilidade que seus homólogos de gasolina, e menos contaminante mas são muito mais caros que o corta relva com cabos.

- Outros: são de tipo “hoover” e do tipo robot.

5. Análise de soluções

5.1. Motores

Um motor eléctrica é um aparelho que transforma a energia eléctrica em energia mecânica por médio de fenômenos eletromagnéticos. Alguns dos motores são reversíveis podem ser utilizados como geradores, transformando energia mecânica em energia eléctrica.

Para nosso corta relva podem ser duas soluções, motores do tipo AC (corrente alterna) ou DC (corrente continua).

5.1.1. Motores de indução

O motor AC ou de indução surge como o tipo de motor mais usado na indústria. Este é porque à maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia eléctrica serem de corrente alternada. O rendimento é elevado para média e máxima carga, e pode-se assegurar um bom factor de potência quando a seleção é correta. Este tipo de máquinas divide-se em dois tipos:

- As máquinas de rotor bobinado possuem um rotor com três enrolamentos isolados distribuídos ao longo da periferia defasados de 120° eléctricos. A ligação com o exterior faz-se recorrendo a anéis e escovas, nas quais podemos ligar resistências de arranque ou resistências de regulação de velocidade, de modo que quanto maior a resistência, menor será a corrente, portanto menor será a velocidade.
- As máquinas de rotor em gaiola, tem um rotor constituído por um núcleo de ferro no qual se encontram condutores ligados na periferia através de dois anéis que os curto-circuitam. Este tipo de máquinas destaca-se por ter uma elevada robustez, um peso baixo, um reduzido momento de inércia, ou seja, no conjunto é a máquina mais barata. É provavelmente a máquina mais utilizada em acionamentos de velocidade constante.

Vantagens

- Simplicidade, que se traduz em baixo custo e máxima eficácia com manutenção mínima
- Como não tem escovas, permite ao motor atingir a rotação máxima, por tanto melhor comportamento logo um melhor rendimento total
- Boas prestações com o uso de variadores electrónicos de velocidade

Desvantagens

- Variadores muito caros para este tipo de aplicação
- Alimentação das baterias é DC, por tanto, torna-se necessário um control electrónico adicional para o correcto funcionamento do motor (inversor), o que resulta num custo final mais elevado

Motores ABB monofásicos de baixa tensão

Output kW	Type designation	Product code	Speed r/min	Efficiency %	Power factor cos φ	Current			Torque			Capacitor		Moment of inertia J = 1/4 GD ² kgm ²	Weight kg
						I _N A	I _s A	I _N A	T _N Nm	T _s Nm	T _{max} Nm	Start μF	Run μF		
3000 r/min = 2 poles															
230 V 50 Hz															
0.18	M3VD 63 A	3GVD 061001-**-B	2820	56.5	0.92	1.6	3.3	0.61	2.0	2.0	16	8	0.00016	5	
0.25	M3VD 63 B	3GVD 061002-**-B	2820	60.5	0.94	1.95	3.6	0.85	2.0	2.1	20	10	0.00036	5.5	
0.37	M3VD 71 A	3GVD 071001-**-B	2855	71.5	0.99	2.3	4.8	1.25	1.7	1.8	40	10	0.0004	6	
0.55	M3VD 71 B	3GVD 071002-**-B	2860	72.5	0.99	3.4	4.8	1.85	1.7	1.8	60	16	0.00045	7	
0.75	M3VD 71 C	3GVD 071003-**-B	2860	74.5	0.99	4.4	4.9	2.5	1.7	1.8	60	20	0.0005	7.5	
0.75	M3VD 80 A	3GVD 081001-**-B	2860	73.0	0.99	4.4	4.6	2	1.8	2.2	80	20	0.00072	9.5	
1.1	M3VD 80 B	3GVD 081002-**-B	2860	74.5	0.99	6.5	4.6	3.7	1.7	2.1	100	25	0.00076	11.5	
1.4	M3VD 80 C	3GVD 081003-**-B	2860	75.5	0.99	8.2	4.8	4.7	1.7	2.0	100	30	0.00109	12	
1.5	M3AD 90 L	3GAD 091202-**-E	2910	80.0	0.99	8.2	4.6	5	1.4	1.9	130	40	0.0019	13	

Imagem 3 – Características dos motores ABB monofásicos

Motores ABB trifásicos com gaiola de esquilo

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-2-1; 2007			Power factor cos φ	Current			Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD ² kgm ²	Weight kg	Sound pressure level L _{PA} dB
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _N A	I _s A	I _N A	T _N Nm	T _s Nm	T _{max} Nm			
3000 r/min = 2-poles																
400 V 50 Hz																
CENELEC-design																
0.09	M2AA 56 A	3GAA 051 001-**-A	2820	59.8	53.3	47.9	0.69	0.31	3.9	0.3	2.9	2.7	0.00011	3.2	48	
0.12	M2AA 56 B	3GAA 051 002-**-A	2840	67.2	63.8	55.6	0.64	0.4	4.1	0.4	3.2	2.8	0.00012	3.4	48	
0.18	M2AA 63 A	3GAA 061 001-**-C	2820	75.0	72.0	66.1	0.62	0.55	4.2	0.6	3.5	3.1	0.00013	3.9	54	
0.25	M2AA 63 B	3GAA 061 002-**-C	2810	78.6	77.0	69.6	0.69	0.66	4.5	0.8	3.6	3.3	0.00016	4.4	54	
0.37	M2AA 71 A	3GAA 071 001-**-E	2800	71.6	72.3	70.2	0.76	0.98	5.1	1.3	3.0	2.9	0.00035	4.9	58	
0.55	M2AA 71 B	3GAA 071 002-**-E	2790	78.4	79.8	78.7	0.78	1.29	5.3	1.9	2.9	2.8	0.00045	5.9	58	
0.75	M2AA 80 A	3GAA 081 001-**-E	2820	78.8	79.6	77.9	0.79	1.73	5.1	2.5	3.4	3.0	0.00069	8.5	60	
1.1	M2AA 80 B	3GAA 081 002-**-E	2760	78.1	80.0	79.7	0.83	2.4	5.7	3.8	2.5	2.6	0.0009	10.5	60	

Imagem 4 – Características dos motores ABB trifásicos

Elmeq Motores, motor monofásico modelo DR52.0X60

Va	F	Red	Dobl e senti do de giro	Velocid ad en vacío	Velocid ad nominal	Par nomin al	Poten cia nomin al útil	Par de arranq ue	Par de deslizamie nto	Pa	la	C	J
V	Hz			rpm	rpm	mNm	W	mNm	mNm	W	mA	μF	gc m ²
230	50	Mon	Si	3000	2600	104	29	68	125	69	300	4	230

ISGV Motores, motores trifásicos de dois pólos

TIPO TYPE	POTENÇA POWER		VELOCIDADE SPEED	COPPIA TORQUE	PD ² PD ²	CORRENTE CURRENT	REND. YIELD	F.d.p. F.d.p.	I spunto I pick-up	C spunto Pick-up torque	C max. Max. torque	PESO WEIGHT
	CV	KW										
A 63 A 2	0,25	0,18	2800	0,083	0,00071	0,56	66	0,76	4	2,8	3	5,8
A 63 B 2	0,33	0,25	2850	0,082	0,00085	0,72	70	0,70	4,7	3,2	3	7,2
A 71 A 2	0,5	0,37	2820	0,124	0,00097	0,95	68	0,81	4,3	2	2,3	9,2
A 71 B 2	0,75	0,55	2820	0,186	0,0013	1,4	70	0,82	4,7	2,1	2	10,2
A 80 A 2	1	0,75	2820	0,25	0,0028	1,8	73	0,80	4,5	2,3	2,6	14
A 80 B 2	1,5	1,1	2820	0,37	0,0036	2,6	76	0,82	5,3	2,7	2,7	15,3
A 90 S 2	2	1,5	2840	0,49	0,0064	3,3	80	0,83	5,9	2,5	2,7	20
A 90 L 2	3	2,2	2840	0,74	0,0084	4,8	80	0,83	5,5	2,5	2,8	24
A 100 L 2	4	3,0	2840	1	0,0135	6,1	82	0,85	6	2,5	2,8	29

Imagem 5 – Características motores ISGV trifásicos

5.1.2. DC sem escovas

O motor de corrente contínua sem escovas BLDC que em nomenclatura inglesa significa que é um motor síncrono em que magnetos permanentes, estes fazem parte do rotor, enquanto no estator estão instaladas as bobinas que irão produzir o campo magnético que, em última análise, é responsável pelo movimento do rotor.

O facto de ser sem escovas faz com que o BLDC seja utilizado em sistemas em que o desgaste das escovas de um motor comum não é tolerável. Outros factores, como a capacidade de operação em rotações maiores e a facilidade de dissipação do calor gerado nos enrolamentos, tornam o BLDC bastante atrativo para muitas aplicações.

Com base na disposição dos elementos de que são constituídos, os BLDC podem ser divididos em duas categorias: aqueles em que o fluxo magnético ocorre na direcção radial, utilizados em bombas de sangue, e aqueles em que o fluxo magnético ocorre na direcção axial, também chamados de panqueca, sendo estes encontrados principalmente, nas unidades de disco dos microcomputadores.

Vamos a falar dos primeiros que são os mais interessantes para nosso projecto. Estes podem ser de dois tipos em relação ao rotor: Motor de pólos lisos onde as indutâncias de eixo e quadratura são praticamente iguais e constantes, e os de imanes internos ou pólos salientes com os imanes montados internamente no rotor. Nestes últimos devido à saliência do rotor, tendem a produzir indutâncias L_d e L_q diferentes. Esta saliência produz binário de relutância que, somado ao binário eletromagnético devido aos ímãs, produz um binário resultante maior. Além disso, os motores de ímã interno são capazes de operar numa grande faixa de velocidades acima da nominal, com potência constante. O motor com imanes superficiais apresenta uma limitada capacidade de operar em velocidades acima da nominal, com potência constante, devido à baixa indutância resultante do grande entreferro. Outra vantagem do motor com ímã interno sobre os imanes superficiais são: imanes

inseridos no interior do rotor, o que permite que o ímã fique protegido contra a força centrífuga.

Esta figura pode mostrar melhor como são cada um dos dois tipos:

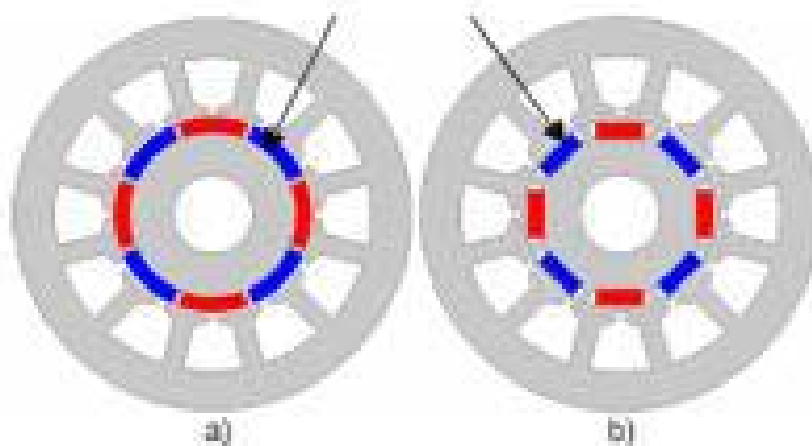


Imagem 6 – Funcionamento dos imanes do motor

A operação de um BLDC é muito parecida com a de um motor de passo, ou seja, por meio da comutação estratégica das bobinas do estator é possível alterar a orientação do campo eletromagnético produzido e assim, controlar o movimento do rotor.

Como podemos verificar o princípio de funcionamento do motor CC com escova é semelhante à de um BLDC. Assim se tivermos um motor CC básico com escova e colocamos as espiras nos pólos do estator e os imanes permanentes no rotor associado a um dispositivo responsável pela comutação, podemos dizer que estamos perante um BLDC.

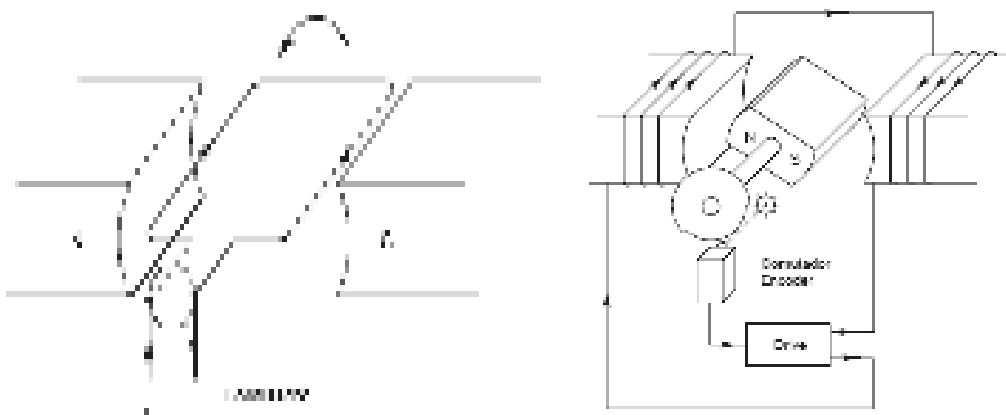


Imagem 7 – Campos indutivos no motor

Melhorando o numero de pólos e de fases podemos melhorar o rendimento.

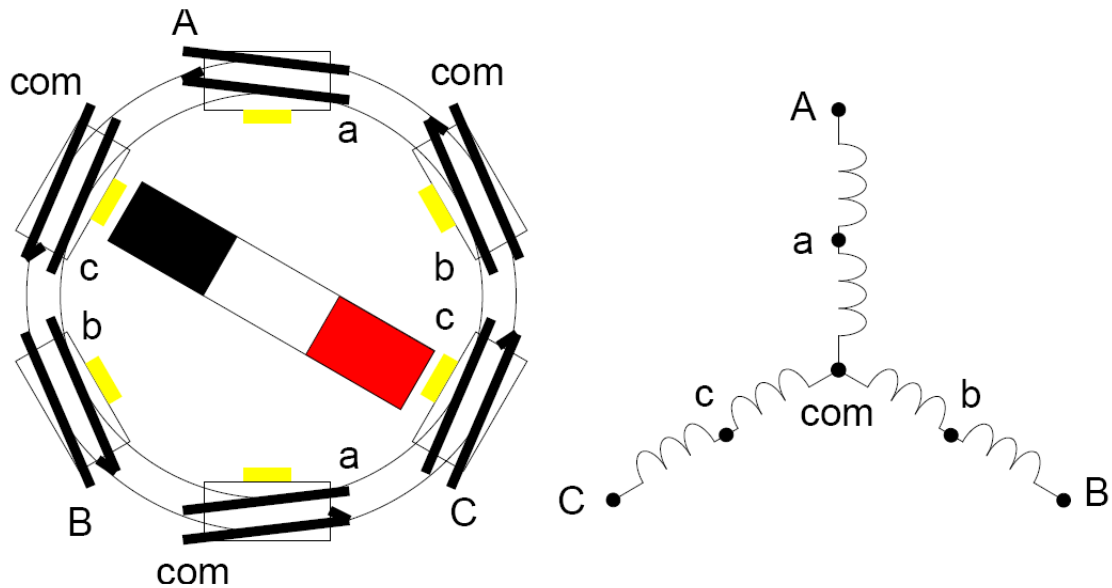


Imagem 8 – Influencia dos pólos

Quando uma das três fases conduz, o ímã é atraído e coloca-se na sua respectiva posição. Depois conduz a seguinte fase e o ímã é atraído para a nova posição, e assim sucessivamente, de modo a termos um movimento rotativo e controlado.

Para o controle utilizam-se dispositivos eletrónicos típicos para comutar a corrente, ou seja, deixar ou não deixar passar corrente. De um modo muito esquemático seria uma coisa assim:

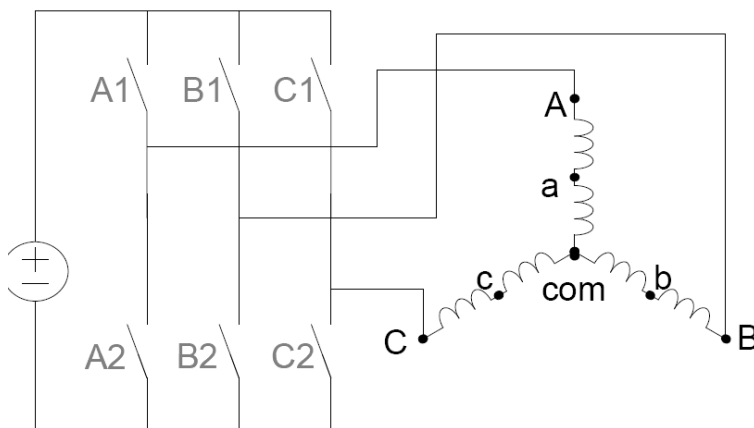


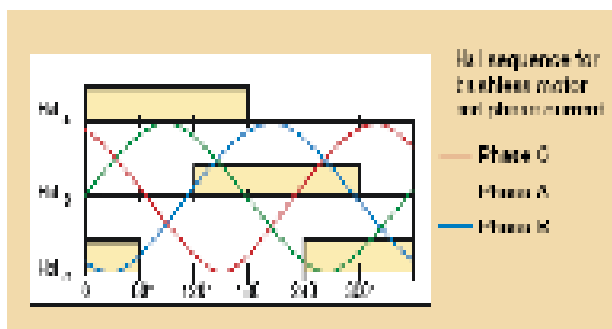
Imagem 9 – Comutação controlada dum motor

A escolha do tipo de motor a ser utilizado é uma solução de compromisso entre o binário desejado e o custo. A escolha de um motor com um número maior de pólos magnéticos proporciona uma resposta de binário mais estável em baixas rotações. Como o número ótimo de pólos magnéticos é uma função complexa da geometria e das propriedades do material, em muitos projetos a

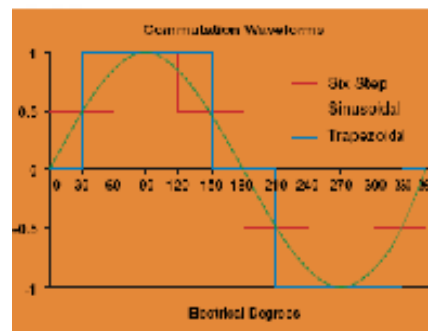
necessidade de redução de custo faz com que se dê preferência a um rotor com um número menor de pólos magnéticos.

Ainda, em relação á capacidade de produção de binário, outro fator que tem influência é o tamanho do motor, uma vez que o binário é diretamente proporcional ao comprimento do rotor e ao quadrado do diâmetro deste. Dessa forma, a escolha também é uma solução de compromisso entre o binário desejado e o custo.

Do movimento de rotação por meio da interação entre os ímãs permanentes do rotor e as bobinas do estator, surge uma BEMF, do inglês, uma força contra-eletromotriz cuja curva característica depende da velocidade de operação e da disposição dos enrolamentos no compartimento do estator. A amplitude da BEMF é diretamente proporcional à velocidade do rotor, e o aspecto de sua curva característica, sinusoidal ou trapezoidal, depende da geometria do estator.



Senoidal *Imagem10 – Voltagem médio*



Trapezoidal *Imagem 11 – Voltagem médio*

O controlo do acionamentos trapezoidal é mais simples, pois não há necessidade de ter um sensor de posição de alta resolução no rotor, uma vez que apenas seis instantes de comutação da corrente das três fases devem ser monitorizados a cada ciclo eléctrico (o custo do drive é menor.). No entanto, este tipo de motor apresenta um binário mais pulsante em relação ao sinusoidal.

Ao contrário do acionamentos trapezoidal, o controle do acionamentos sinusoidal é mais complexo, pois são necessários sensores de correntes em cada fase e um sensor de posição de alta resolução para manter a sincronização precisa da forma de onda da corrente com a posição angular do rotor em cada instante de tempo. O sensor de posição pode ser um encoder óptico. Por outro lado um BEMF sinusoidal proporciona maior estabilidade do binário produzido em baixas velocidades de rotação.

A utilização deste tipo de motores apresenta algumas vantagens, como por exemplo:

- Elevada resposta dinâmica

- Longa vida útil
- Elevada eficiência
- Melhor característica velocidade vs binário
- Gammas de velocidade superiores
- Máquinas mais compactas

A principal desvantagem é o elevado custo devido aos ímãs e os controladores para seu funcionamento.

Batlight: Motores DC Brushless HUB para Carros

Modelo	Potencia	Tensã	Max Eficiência	Max Torque	Max RPM	Velocidade máxima	Dimensã	Poder de subida	Preço
ECAR -5KW	5000W* 2	60V	94,00%	400Nm	750	50Km/h	13"	25%~30%	2.146,00 €
ECAR -7KW	7000W* 2	60V	93,00%	380Nm	900	70Km/h	13"	25%~30%	3.048,00 €
ECAR -10KW	10000W* 2	60V	93,00%	380Nm	1100	90Km/h	15"	25%~30%	4.366,00 €

Golden Motor Technology Co Ltd Model: HPM5000B \$296 (48V) \$315 (72V)

Torque (Nm)	Speed (rpm)	Output (W)	Voltage (Vdc)	Current (A)	Input (W)	Efficiency (%)
3.86	3662	1480.32	47.98	37.03	1777.08	83.3
4.15	3644	1583.73	47.96	39.23	1881.65	84.2
4.49	3623	1703.58	47.93	41.81	2004.11	85.0
4.80	3604	1811.55	47.90	44.17	2115.63	85.6
5.07	3587	1904.57	47.88	46.22	2212.65	86.1
5.47	3562	2040.65	47.84	49.25	2356.21	86.6
5.81	3541	2154.68	47.81	51.83	2478.06	87.0
6.17	3519	2273.78	47.78	54.56	2606.91	87.2
6.53	3497	2391.21	47.75	57.29	2735.59	87.4
6.79	3481	2474.97	47.72	59.27	2828.41	87.5
7.24	3453	2617.87	47.68	62.68	2988.85	87.6
7.59	3431	2727.19	47.65	65.34	3113.45	87.6
7.95	3409	2837.99	47.62	68.07	3241.44	87.6
8.30	3387	2944.09	47.59	70.72	3365.70	87.5
8.68	3364	3057.49	47.56	73.61	3500.42	87.3
8.94	3347	3134.00	47.53	75.58	3592.49	87.2
9.39	3320	3264.36	47.49	78.99	3751.63	87.0

Imagem 12 – Tabela de tipos de motor GOLDEN MOTOR

Lafert Servo Motors S.p.A.

Characteristics				Physical data				Thermal data						
Stall torque (Dt=100°C)	Rated speed	Output at rated speed	Rated torque	Peak torque	Maximum speed	Moment of Inertia	Peak torque acceleration	Thermal time constant	Thermal protection threshold	Voltage constant	Torque constant	BEMF at rated speed	Stall current	Rated current
M0	n	Pn	Mn	Mpk	nmax	J	apk	Tth	Jmax	ke	kt	En	I0	In
Nm	1/min	W	Nm	Nm	rpm	10 ⁻⁴ Kgm ²	rad/sec ²	min	°C	Vs	Nm/A	V	A	A

Voltage M (230 Volt) - 3000 Min-1 (8 poles) -Connection Y

B56E2S 3M	1,2	3000	314	1,0	4,2	6000	0,73	57534	32	140	0,49	0,85	154	1,4	1,2
B56F4S 3M	2,4	3000	628	2,0	8,5	6000	1,40	60714	35	140	0,49	0,85	154	2,8	2,4
B56G4S 3M	3,4	3000	817	2,6	10,5	6000	1,84	57065	38	140	0,49	0,85	154	4,0	3,1

Voltage H (400 Volt) - 3000 Min-1 (8 poles) -Connection Y

B56E2S 3H	1,2	3000	314	1,0	4,2	6000	0,73	57534	32	140	0,85	1,48	268	0,8	0,7
B56F4S 3H	2,4	3000	628	2,0	8,5	6000	1,40	60714	35	140	0,85	1,48	268	1,6	1,4
B56G4S 3H	3,4	3000	817	2,6	10,5	6000	1,84	57065	38	140	0,85	1,48	268	2,3	1,8

Imagem 13 – Tabela de tipos de motor LAFERT SERVO

5.1.3. DC com escova

O motor CC com escova baseia-se no conceito de que é criada uma força quando um condutor é percorrido por uma corrente quando colocado num campo magnético.

A força que age sobre o condutor é produto da corrente e da densidade do fluxo é:

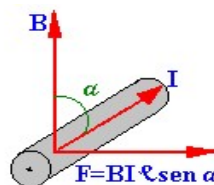


Imagem 14 – Forças indutivas e densidade de fluxo

A força disponível pode ser aumentada utilizando-se mais condutores, ou enrolando-se um fio numa forma de bobina. Quando temos uma corrente no estator que produz um campo magnético de maneira que os pólos estão invertidos, e uma alimentação no rotor que produz mais uma corrente, o rotor é atraído por um lado e repellido doutro, por tanto gira, até que chega a uma posição onde já não pode mais ser atraído ou repellido. Por tanto, precisa de um troco para voltar a uma situação instável onde tenha de girar outra vez. Para isto há um comutador que se baseia num condutor circular partido em duas metades que gira com o rotor e umas escovas fixas que tomam a corrente de maneira que já temos uma comutação que produz um ciclo girante.

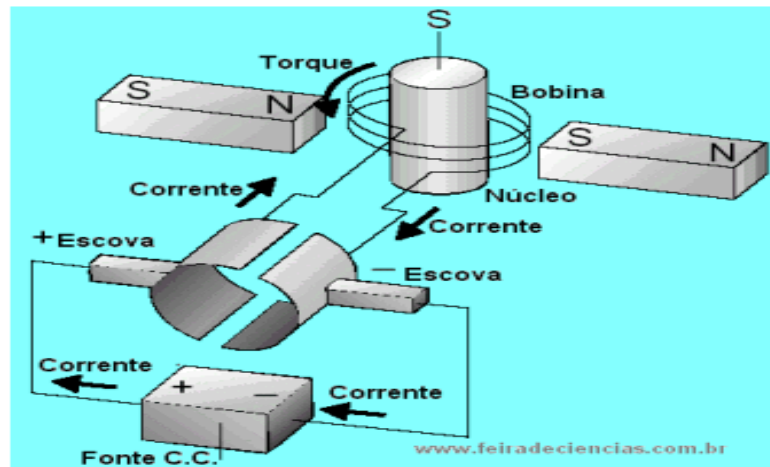


Imagem 15 – Funcionamento dum motor DC com escova

Portanto em corte um motor de corrente contínua representa-se da seguinte forma:

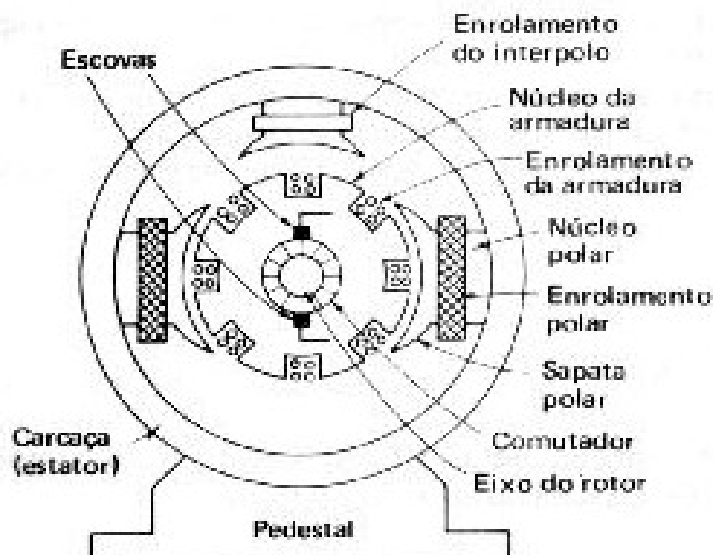


Imagem 16 – Partes dum motor DC com escova

A figura mostra em corte uma máquina CC típica, simplificada para dar ênfase às partes principais.

O rotor consiste de eixo, núcleo, enrolamento e comutador, e tem quatro funções principais:

- (1) permite rotação para ação geradora ou ação motora mecânica
- (2) dependendo da rotação, produz a ação de chaveamento necessário para a comutação
- (3) contém os condutores que induzem a tensão ou providenciam um binário eletromagnético
- (4) dispõe de uma faixa de baixa relutância para o fluxo.

O estator da máquina CC consiste na carcaça, enrolamento de campo, pólos, interpolos, escovas e porta escovas.

As ligações eléctricas da máquina de CC mais utilizadas são:

- shunt, no qual os enrolamentos do campo estão em paralelo com o circuito da armadura
- série, na qual o enrolamento de poucas espiras com fio grosso de campo- está localizado nos pólos principais e ligado em série com o circuito da armadura, bem como as escovas.

Em resumo, estas são as prestações das máquinas CC com escova:

Tipo	Binário de Arranque	Velocidade	Utilização
Excitação separada	Fraco	Constante	Rodar
Série	Elevado	Variável (embala em vazio)	Aparelhos Elevatórios Tração mecânica
Shunt	Fraco	Constante	Máquinas de Ferramentas
Composto Cumulativo	Elevado	Pouco variável	Aparelhos Elevatórios
Composto Diferencial	Fraco	Constante	Máquinas de Ferramentas Máquinas de tecidos

Ágoras as principais vantagens destes tipo de motores:

- Boa resposta a elevados binários e numa ampla faixa de velocidades
- Controlo simple

Desvantagens:

- As escovas necessitam de muita manutenção e não permitem velocidades muito elevadas.
- Peras elevadas que produzem aquecimento

Aqui temos alguns motores do mercado:

L.M.C Ltd Motors and Generators

Motor	No Load Current A	Torque Constant Nm/A	Speed Constant Rpm/V	Armature Resistance DC mΩ	Armature Inductance @ 15kHz μH	Armature Inertia Kgm ²	Peak Power kW	Peak Efficiency %	Peak Current A	Rated Power kW	Rated Speed Rpm	Rated Voltage V	Rated Current A	Rated Torque Nm
126	10	0.0737	105	175	6	0.0234	7.59	83	400	5.06	2520	24	270	19.2
127	5	0.15	54	22.5	23	0.0236	16.08	88	400	8.55	2592	48	215	31.5
D126	5	0.0748	100	138	5	0.0234	11.14	81	400	6.91	3600	36	250	18.3
D127	4	0.17	50	17.5	13	0.0236	25.38	90	400	12.56	3600	72	200	33.3
D135	3.5	0.185	45	16.75	16		29.04	90	400	14.39	3780	84	200	36.4

Imagem 17 – Tipos de motores LMC

Rotomag battery operated permanent magnet DC motor

H.P./Watts	Frame Size	Volts				Current (Amps)				Torque KgcM	Mounting	Type	Ins. Class	Protection	Duty Mins	Weight (kgs.)
		V1	V2	V3	V4	I1	I2	I3	I4							
3000 RPM MOTORS																
2.5/1865	V1	-	24	36	48	-	97.0	65.0	48.5	60	Foot/Face	TENV	F	IP-44	S2-5	16
3.5/2610	V2	-	24	36	48	-	136.0	90.5	68.0	84	Foot/Face	TENV	F	IP-44	S2-5	23
4.5/3350	V3	-	-	36	48	-	-	116.5	87.0	107	Foot/Face	TENV	F	IP-44	S2-5	30

Imagem 18 – Tipos de motores Rotomag

ACM engineering DC motor serie70

TABELLA DATI ELETTRICI (F.F 1.1) / TABLE OF ELECTRICAL DATA (F.F 1.1)																	
TIPO TYPE	2000 giri/min 3000 RPM								3000 giri/min 3600 RPM								TIPO TYPE
	VOLT 12		VOLT 24		VOLT 36		VOLT 48		VOLT 12		VOLT 24		VOLT 36		VOLT 48		
	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	Watt	Amp.	
MGp 71A	150	1.77	150	1.6	180	1.7	180	1.3	350	41	350	30.5	400	4.4	400	2.8	MGp 71A1
MGp 71B	300	3.44	300	1.2	330	4.8	330	2.4	700	80	700	40	700	10.5	700	5.2	MGp 71B2
MGp 71C	450	5.14	450	21.7	480	6.8	480	3.4	-	-	1000	57	1000	15	1000	7.5	MGp 71C3
MGp 71D	600	6.88	600	34.5	630	9	630	4.8	-	-	1200	70	1200	20	1200	10	MGp 71D4
MGs 71A	140	16	140	8	150	2.2	150	1.1	250	28.5	250	14.2	270	4	270	2	MGs 71A1
MGs 71B	280	32	280	16	300	4.2	300	2.1	500	57	500	28	500	7.5	500	3.8	MGs 71B2
MGs 71C	400	44	400	22	420	6.2	420	3.2	700	80	700	40	750	11	750	5.5	MGs 71C3
MGs 71D	500	58	500	28	550	9	550	4.4	-	-	900	58	950	14	950	8	MGs 71D4

Imagem 19 – Tipos de motores ACM

Elmeq Motores modelo RC230

Ua	Velocidad a In	Par a In	Corriente (In)	Velocidad en vacío	Corriente en vacío	Par a Ua	Corriente a Ua	Cte de par	Cte de velocidad	Pendiente vel/par	Velocidad max	P.útil máx a Ua	Rdto máx	Res. En bornes
V	rpm	mNm	mA	rpm	mA	mNm	mA	mNm/A	rpm/V	rpm/mNm	rpm	W	%	Ohm
12	2867	45.37	1800	4500	150	123	5040	25	379	36	10000	15	71	2,38

5.1.4. Motores Directdrive ou HUBwheels

Este tipo de motores tem um ganho grande popularidade para aplicações em tracção eléctrica e maquinaria em geral. Dentro desta categoria são agrupados motores baseados em tecnologias diferentes, tais como os motores de relutância variável, motores DC de imanes permanentes, AC de imanes permanentes comutados electronicamente. A ideia é inserir o motor e freio mesmo na roda do carro.

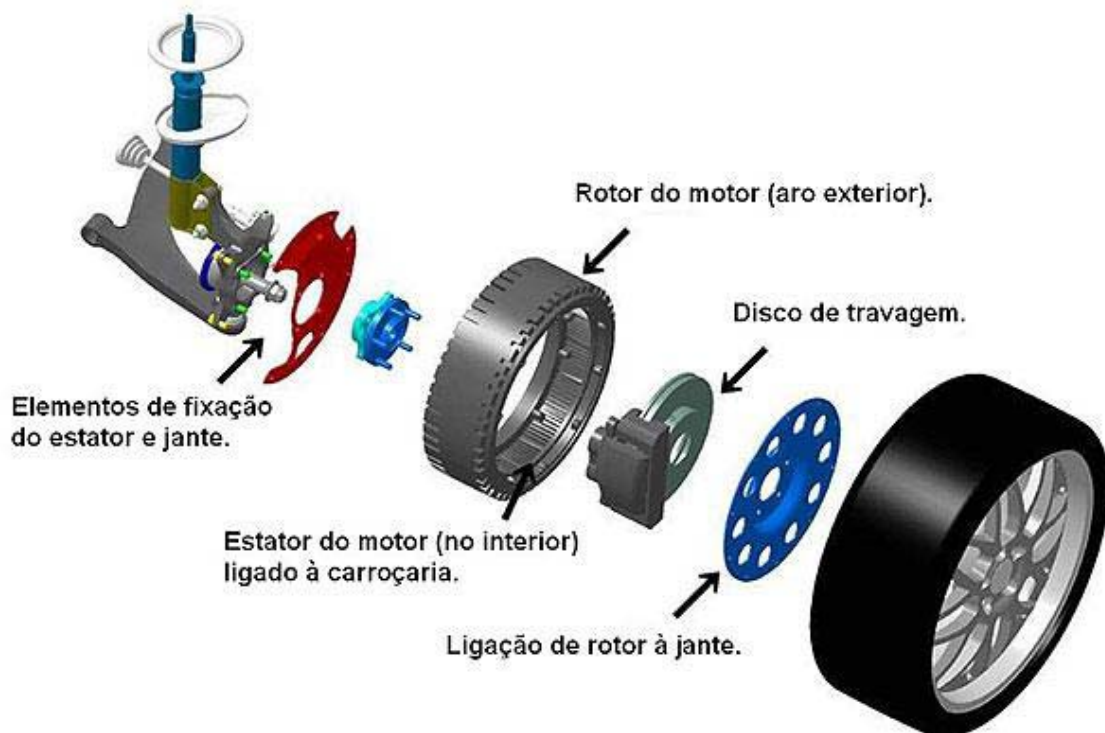


Imagem 20 – Motor Directdrive instalado numa roda

As principais vantagens são:

- Grande rendimento já que as perdas por fricção são drasticamente reduzidas, logo o ruído é consideravelmente reduzido e necessitam de menos manutenção.

- Elevado binário a baixa velocidade e alta precisão
- Seria possível conseguir uma aderência bem maior. Coordenadas por uma central, cada roda poderia exceder forças de tração, estabilidade e freios independentes, conforme a situação

Desvantagens:

- Um problema quando o motor é muito grande, é o aumento da massa não suspensa do veículo, o que aumenta a inércia do conjunto roda/pneu e assim prejudica a dinâmica da suspensão, pois piora a estabilidade em alta velocidade já que a roda “flutuaria”, perdendo aderência.
- Precisam de um controle muito preciso
- O principal problema é seu elevado custo

Lafert Servo Motors S.p.A.

Type	Stall torque ($\Delta t=105^{\circ}\text{C}$)	Rated speed	Output rated speed	Rated torque ($\Delta t=105^{\circ}\text{C}$)	Peak torque	Maximum speed	Moment of inertia	Peak torque acceleration	Thermal time constant	Thermal protection threshold	Voltage constant	Torque constant	Resistance phase to phase (20°C)	Inductance phase to phase	B.E.M.F. at rated speed	Stall current	Rated current
	M_0 Nm	n 1/min	P_n kW	M_n Nm	M_{pk} Nm	n_{max} rpm	J 10^{-4} Kg m^2	a_{pk} rad/sec 2	T_{th} min	θ_{max} $^{\circ}\text{C}$	k_e Vs	k_t Nm/A	R_w Ω	L_w mH	E_n Vrms	I_0 Arms	I_n Arms
500 min⁻¹ - Connection Y																	
B10.10P	10.0	500	0.49	9.6	45	1500	30	15000	40	140	5.60	9.67	24.6	190.0	293	1.03	0.99
B10.20P	20.0	500	0.98	19.0	90	1500	60	15000	40	140	5.60	9.67	12.0	95.0	293	2.06	1.96
1000 min⁻¹ - Connection Y																	
B10.10P	10.0	1000	0.82	8.0	45	1500	30	15000	40	140	2.80	4.85	6.15	47.5	293	2.06	1.65
B10.20P	20.0	1000	1.63	15.8	90	1500	60	15000	40	140	2.80	4.85	3.05	23.7	293	4.12	3.26

Imagem 21 – Tabela dos motores Directdrive Lafert

5.3. Conversores

Os accionamentos electromecânicos de velocidade variável são realizados com elementos de electrónica de potência em associação a máquinas eléctricas e conversores de energia eléctrica.

O desenvolvimento dos sistemas de velocidade ajustável que se verificou nos últimos anos esteve associado ao desenvolvimento da electrónica de potência bem como de novas montagens e aperfeiçoamento das antigas.

O tipo de conversor eléctrico que se deverá utilizar num accionamento electromecânico depende da máquina eléctrica que se está a utilizar, do tipo de fonte de energia disponível e das performances desejadas. São numerosas as variantes de que se pode dispor em conversores electromecânicos de velocidade ajustável.

Os principais tipos de conversores existentes são:

- Conversores AC-DC: Rectificadores. Utilizam dispositivos electrónicos tais como diodos ou tiristores que só deixam passar a corrente só num sentido
- Conversores DC-AC: Inversores ou onduladores. Utilizam dispositivos electrónicos tais como amplificadores operacionais e outros elementos com configurações mais complexas
- Conversores AC-AC: Cicloconversores de potência que fazem a variação de frequência que determina as ondas sinusoidais. Utilizam-se normalmente técnicas PWM que reconstroem as ondas com outra frequência. Muito útil em motores assíncronos para variar a velocidade

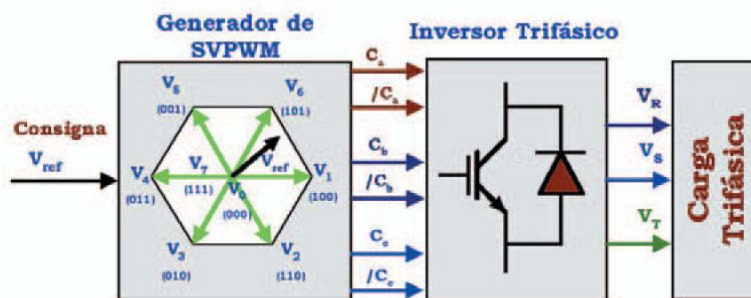


Imagem 22 – Conjunto gerador - inversor para uma carga

- Conversores DC-DC: É fácil ver que destes conversores aparecem como os mais úteis dado que a alimentação pode ser feita através baterias, portanto em DC.

Aqui descrevemos os principais conversores electrónicos que se utilizam para alimentar as máquinas eléctricas de interesse para a propulsão de um veículo eléctrico com baterias. Em engenharia eléctrica, um conversor

CC/CC (ou DC/DC) é um circuito electrónico que converte uma tensão ou corrente contínua que tem uma determinada amplitude, em outra tensão ou corrente contínua com outra amplitude diferente.

5.3.1. Lineares

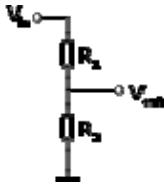


Imagem 23 - Um divisor de tensão simples

Um método simples de conversão de uma tensão contínua em outra é conhecida como divisor de tensão. Esta técnica utiliza resistências em série com a fonte de alimentação fornecendo uma tensão baixa. No entanto, este método possui sérias desvantagens:

- Não promove a regulação de tensão
- Requer conhecimento da resistência da carga utilizada
- Eficiência muito baixa, o que leva também ao excesso de dissipação de potência
- Impossibilidade de gerar tensões mais elevadas que a fonte de alimentação
- Impossibilidade de gerar tensões negativas, excepto se o ponto terra for definido por um nó na rede de resistências

Qualquer tipo de regulador de tensão resolve os primeiros dois problemas, entretanto reguladores lineares ainda possuem os três últimos problemas.

5.3.2. Chaveados ou estáticos

Conversores estáticos são conversores electrónicos de tensão. Estes circuitos, muito similares a uma fonte chaveada (na verdade fazem parte dela), geralmente realizam a conversão aplicando tensão contínua pulsada num indutor ou transformador com determinada frequência/período (usualmente na faixa de 100 kHz a 5 MHz) que faz com que o fluxo de corrente gere energia magnética armazenada, que é então aproveitada na saída. Ajustando-se o ciclo de trabalho, a tensão na saída pode ser alterada, ou preferencialmente, mantida estável, através de um controle adequado (realimentação), mesmo que ocorram alterações de carga e corrente. Este método de conversão é mais eficiente (geralmente 80% a 95%) do que os conversores lineares. Uma desvantagem dos conversores chaveados é o ruído electrónico gerado a altas frequências, que muitas vezes precisam ser filtrados.

As principais topologias de conversores estáticos CC para CC são:

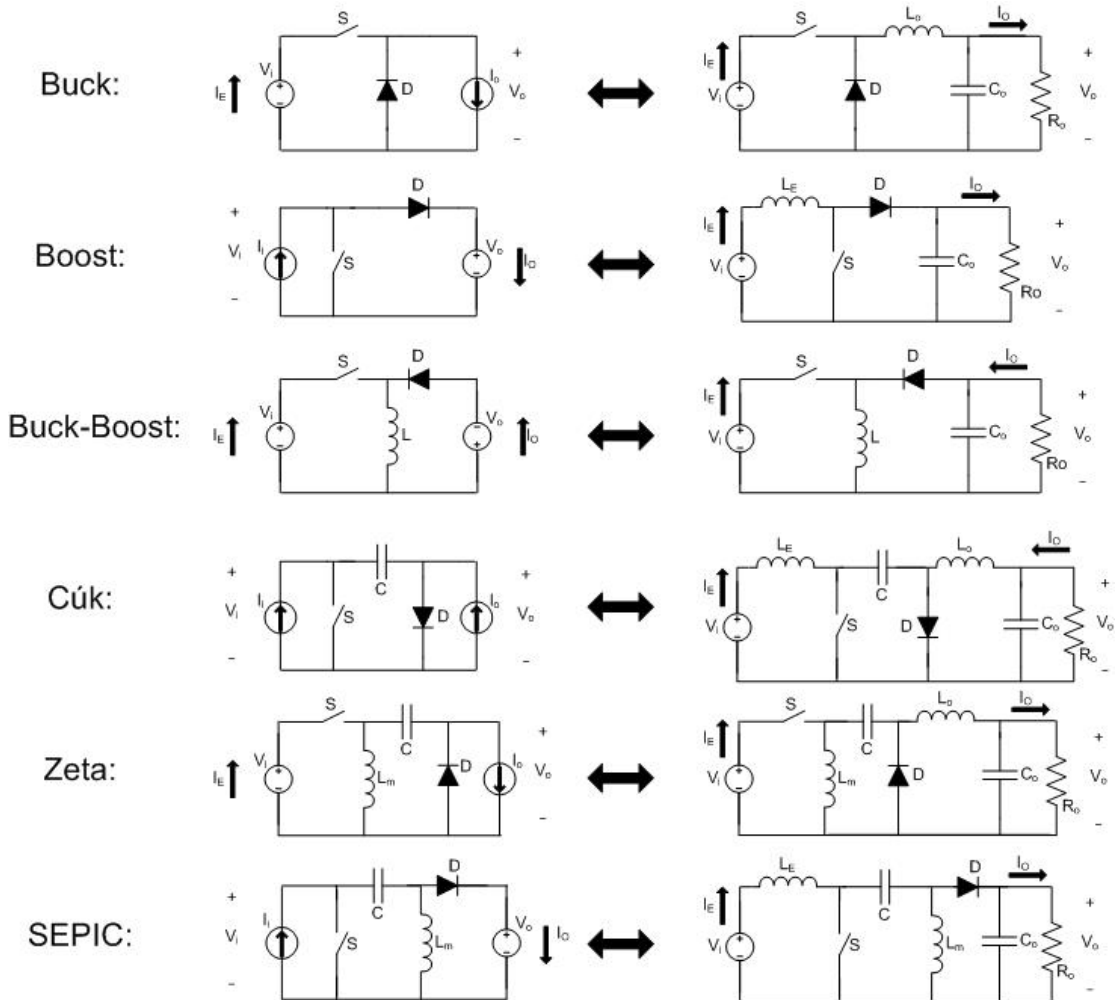


Imagem24 – Tipos de conversores estáticos

Analisando o esquema, verificamos que a tensão indicada no conversor Buck está invertida. Conversores Estáticos CC/CC destinam-se a converter um nível de tensão e corrente contínuo num outro nível de tensão e corrente contínuo, obedecendo às leis de conservação de energia (idealmente a energia média transferida não sofre alteração). Como não se pode utilizar transformadores para níveis CC, pois não haveria variação de fluxo magnético neste caso, o circuito necessita do uso de interruptores controlados, transistores, (MOSFETs, IGBTs, BJTs, GTOs), etc... , trabalhando em alta frequência de comutação. Também faz uso de interruptores não controlados (diodos) além de componentes passivos como bobinas e condensadores.

As topologias básicas não isoladas são Buck (abaixador de tensão) e Boost (elevador de tensão). As demais topologias não isoladas são Buck-Boost, Cúk, Zeta e SEPIC e são derivadas da associação das duas topologias básicas.

Existem topologias isoladas (com o uso de um transformador para alta frequência) e não isoladas. As principais topologias isoladas são o Forward (buck isolado), Flyback (Buck-boost isolado), Push-Pull, Half-Bridge (Meia Ponte) e o Full-Bridge (Ponte Completa).

Para o conversor Buck operando em condução contínua, o ganho estático é:

$$V_o/V_i=D$$

Para o conversor Boost operando em condução contínua, seu ganho estático é:

$$V_o/V_i=1/(1-D)$$

Para as demais topologias não isoladas operando em condução contínua, o ganho estático é:

$$V_o/V_i=D/(1-D)$$

Onde:

$$D=tc/T$$

tc: tempo de condução do interruptor

T: período de chaveamento

V_o : Tensão da fonte de saída (carga)

V_i : Tensão da fonte de entrada (alimentação)

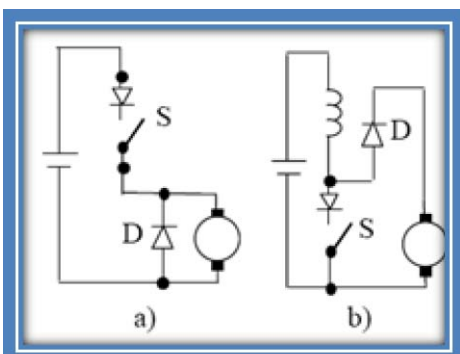


Imagem 25 – Montagens Chopper no quadrante 1

As montagens mais simples encontram-se representadas na figura a, que é designada por “Chopper” abaixador de 1 quadrante, e permite regular a tensão a aplicar à máquina para valores abaixo dos valores da tensão de alimentação. A figura b, apresenta o “Chopper” elevador de 1 quadrante que permite aplicar à carga tensões mais elevadas que as da fonte.

5.4. CPU

5.4.1. Micro processador

O microprocessador, popularmente chamado de processador, é um circuito integrado que realiza as funções de cálculo e tomada de decisão de um computador. Todos os computadores e equipamentos eletrônicos baseiam-se nele para executar as suas funções.

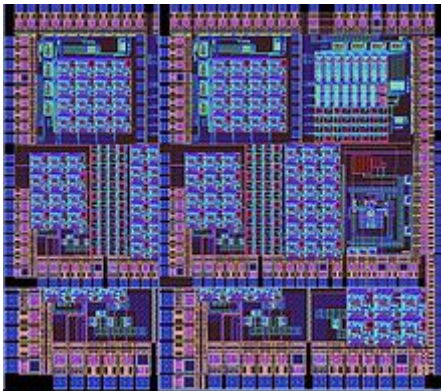


Imagem 26– Vista microscópica dum micro processador

Arquitetura interna de um microprocessador dedicado para processamento de imagens de ressonância magnética, a fotografia foi aumentada 600 vezes, sob luz ultravioleta para se veros os detalhes

O microprocessador moderno é um circuito integrado formado por uma camada chamada de mesa epitaxial de silício, trabalhada de modo a formar um cristal de extrema pureza, laminada até uma espessura mínima com grande precisão, depois cuidadosamente mascarada por um processo fotográfico e dopada pela exposição a altas temperaturas em fornos que contêm misturas gasosas de impurezas. Este processo é repetido tantas vezes quanto necessário à formação do micro arquitetura do componente.

Responsável pela execução das instruções num sistema, o microprocessador, escolhido entre os disponíveis no mercado, determina, em certa medida a capacidade de processamento do computador e também o conjunto primário de instruções que ele compreende. O sistema operativo é construído sobre este conjunto.

O próprio microprocessador subdivide-se em várias unidades, trabalhando em altas frequências. A ULA(Unidade Lógica Aritmética), unidade responsável pelos cálculos aritméticos e lógicos e os registradores são parte integrante do microprocessador na família x86, por exemplo.

Embora seja a essência do computador, o microprocessador diferente do micro controlador, está longe de ser um computador completo. Para que possa

interagir com o utilizador precisa de: memória, dispositivos de entrada/saída, um “clock”, controladores e conversores de sinais, entre outros.

5.4.2. Micro controlador

No entanto do ponto de vista económico, a solução do microprocessador não parece a melhor para funções de controlo de processos simples, tais como controle de velocidade simples nos motores eléctricos, portanto centremo-nos agora nos microcontroladores.

Um controlador OPEN LOOP (malha aberta), também reconhecido como controlador sem feedback é um controlador no qual se introduz no sistema um estado que depende do modelo do sistema.

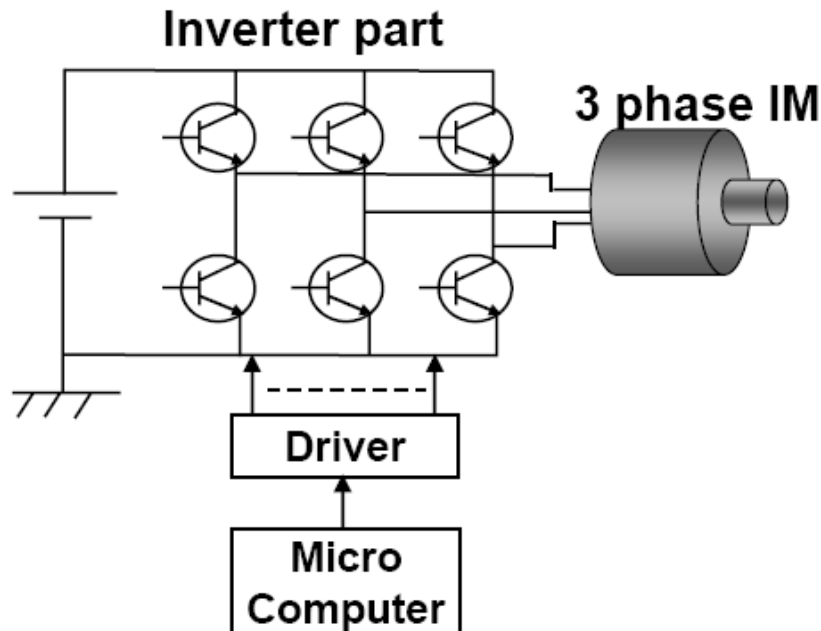


Imagem 27– Controle por malha aberta

Uma característica do controlador em malha aberta é que ele não usa realimentação para determinar se a entrada colocada atingiu o alvo pretendido. Significa que os controladores OPEN LOOP não observam a saída do processo que se está a controlar. Desta forma, um sistema OPEN LOOP não pode corrigir algum erros que venha a surgir no processo, assim como não podem compensar os ruídos introduzidos no sistema.

O controlo OPEN LOOP geralmente implementa-se em sistemas bem definidos onde o relacionamento entre a entrada e o estado resultante pode ser modelado por uma fórmula matemática.

Para se obter um controlo mais exacto, preciso e adaptativo é necessário retirar uma amostra da saída do sistema e colocá-la de novo num comparador á entrada, resultando um novo modelo: Para tal utilizamos um controlo por malha fechada.

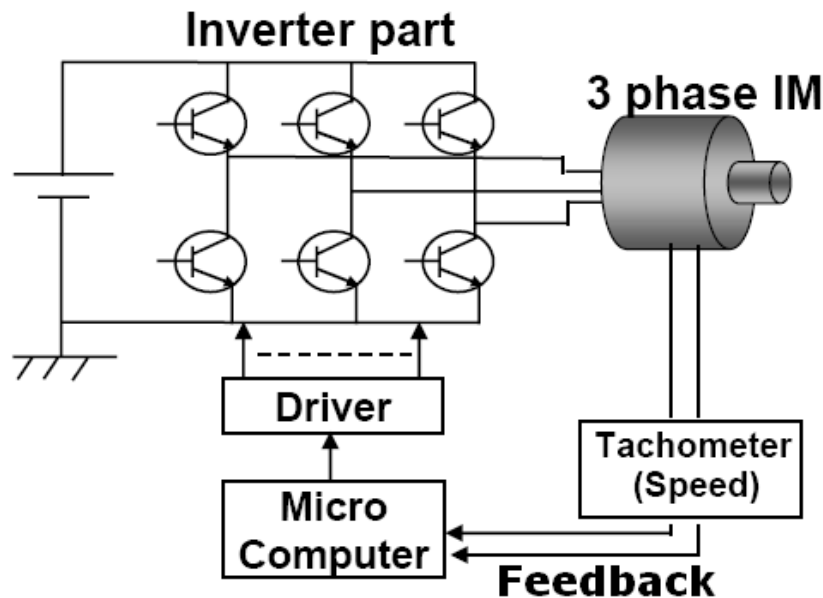


Imagem 28 – Controlo por malha fechada

Para evitar os problemas apresentados pelo controlo OPEN LOOP, a teoria do controlo introduz a realimentação. Um controlador em malha fechada usa realimentação para controlar estados ou saídas de um sistema dinâmico. O nome surge da informação proveniente do sistema: Entradas ou alimentação (tensão a aplicar ao motor eléctrico) têm influência sobre as saídas (velocidade e binário do motor), que são medidas por sensores e processadas pelo controlador. O resultado é um sinal que é usado como entrada do processo, fechando o anel.

Os controladores CLOSED LOOP trazem algumas vantagens sobre os de malha aberta, dos quais se destacam:

- Desempenho garantido mesmo quando o processo real e os parâmetros do modelo não são exactos.
- Um processo instável pode ser estabilizado.
- Redução da sensibilidade a variações de parâmetros.

Aplicando este modelo em carros eléctricos, é sabido que são necessários sensores adicionais, fazendo com que o sistema se torne mais caro e complexo de implementar.

5.4.3. Sensores

Um sensor é um dispositivo capaz de medir grandezas físicas ou químicas, chamadas variáveis de instrumentação, e transformar-las em variáveis eléctricas. Os sensores podem estar ligados a um computador ou algum aparelho de processamento de dados como um micro controlador ou um PC.

Por norma geral, o sinal de saída da maioria destes sensores não é apta para sua leitura directa nem processado, então pode-se usar um circuito de acondicionamento como por exemplo um “Ponte de Wheatstone”, amplificadores e filtros electrónicos que adaptam a sinal para que seja valida para o resto do circuito.

Os sensores mais utilizados são:

Resolver



Imagem 29 - Resolver

Sensor de ângulo, analógico, cuja saída é proporcional ao ângulo que um elemento de rotação (rotor) faz em relação a um elemento fixo:

- $V_{s1}(t) = V_t \sin \Theta$
- $V_{s2}(t) = V_t \cos \Theta$
- $Tg \Theta = V_{s1}(t) / V_{s2}(t)$

Encoder

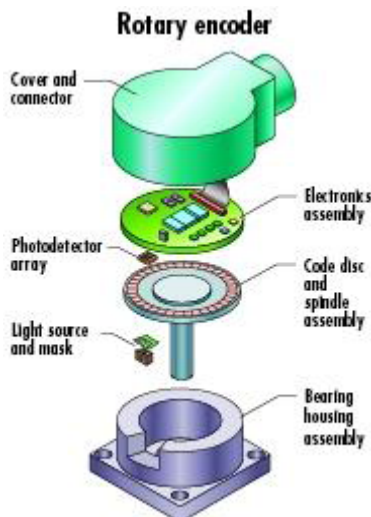


Imagem 30 – Partes dum encoder

- São sensores digitais que medem a posição
- Resolução: é o ângulo resultante da transmissão de um pulso (menor ângulo que um encoder é capaz de medir)
- A resolução depende do número de slots (podem ser de centenas a milhares)
- Tipos: absolutos e incrementais
- Os tacômetros são de este tipo de sensores

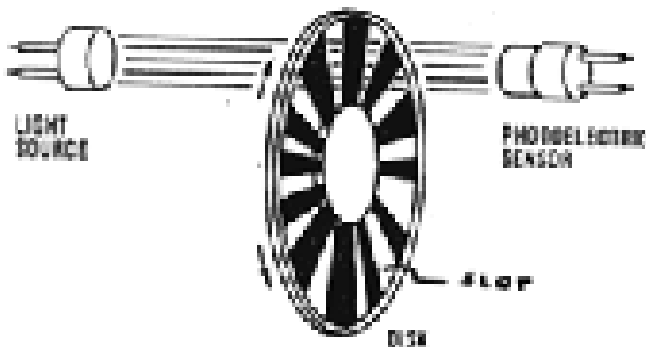


Imagem 31 – Funcionamento dum tacómetro

O funcionamento mostra-se na imagem anterior, onde vemos como um sensor fotoelétrico conta as rotações mediante o passo da luz entre as ranhuras do disco.

Galga

Uma galga é um condutor que quando é sometido a uma força sua resistência aumenta ou diminui. Fazendo os cálculos correspondentes temos a força atuante medida.

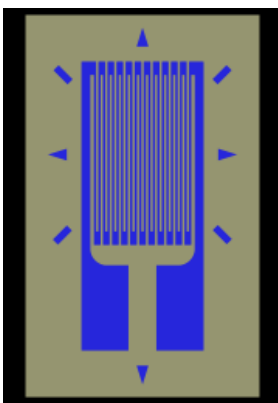


Imagem 32 - Galga

Termopar

Um termopar é um condutor que produz uma queda de tensão quando há uma diferença de temperatura entre os dois metais. Fazendo os cálculos correspondentes ou olhando as tabelas temos a temperatura medida.

Capacitivo

Baseia-se num condensador. Um condensador são duas placas metálicas e um material isolador no médio que armazena a tensão mediante um campo eléctrico. Se este material é modificado por forças que atuam no carro tais como movimentos, inércia ou pressão, ficam reflexadas na capacidade do condensador, portanto fazendo os cálculos correspondentes, temos as medidas das forças.

5.5. Alimentação

5.5.1. Baterias

A alimentação do corta relvas eléctrico pode ser feito através da ligação com a rede (através de um cabo ligado a uma tomada) ou por baterias. Como das características especificadas no projecto se pretende uma máquina autónoma será escolhida a opção das baterias.

Uma bateria é um “recipiente” composto de umas celas eletrolíticas, contituida por duas placas eléctricas de caracteríticas distintas (cátodo e anodo) separados por uma solução iónica que o méio capaz de conduzir electrões de uma placa para a outra.

Actualmente, as baterias de níquel-cádmio e as baterias de acido de chumbo, são as mais utilizadas para o armazenamento de energia em veículos eléctricos. No entanto, as tecnologias de armazenamento e os seu desenvolvimento no futuro são fundamentais para para melhorar a autonomia do veiculo eléctrico.

Os parâmetros que caracterizam as baterias electroquímicas determinam as prestações do veiculo eléctrico, assim que a energia especifica condiciona a autonomia do mesmo, a potência especifica a aceleração e a velocidade, e a duração da bateria determinam o numero de ciclos de carga e descarga que podem fazer, e assim assegurar um rendimento energético aceitável.

De seguida são descritras de uma forma suscinta as principais tecnologias de armazenamento.

Baterias de Chumbo - Acido



Imagem 33 – Bateria de Chumbo

Uma nova geração da baterias de chumbo - acido equipadas com sistemas de gestão da temperatura, é uma das ofertas mais interessantes disponíveis para os veículos eléctricos leves. As suas principais vantagens são um bom preço e um bom rendimento para os deslocamentos não superiores a 50 Km. Além de que esta ultima geração de baterias chumbo- acido não exige manutenção e permitem carregamentos rápidos.

A maioria dos veículos eléctricos utiliza bateria de chumbo - acido porque são as únicas produzidas em série, isto reduz os custos. O seu elevado peso associado à sua reduzida energia específica, levam a que um veiculo para ter uma autonomia de 50Km com uma velocidade ponta de 70Km/h seja necessária mais de 400Kg em baterias. O período de carga pode oscilar entre 8 e 10 horas.

Baterias de níquel-cádmio



Imagem 34 – Baterias níquel-cádmio

O eletrólito níquel- cádmio é um dos tipos mais utilizados na Europa para os veículos eléctricos que são comercializados.

Além de uma maior duração de vida (como indicado pelos fabricantes) comparativamente com as de chumbo - acido, as baterias de níquel-cádmio oferecem maior. Para preservar o seu funcionamento e necessário realizar com frequência descarregas completas também chamadas profundas. É necessário adicionar água cada 5000 o 10000 km aproximadamente.

Baterias de sódio-cloreto



Imagem 35 – Baterias sódio-cloreto

Uma das baterias que mais prometem são as de sódio-cloreto de nitrato conhecidas também por baterias ZEBRA. Iestas baterias que trabalham a altas temperaturas são apropriadas, para autocarros que façam linhas regulares. Em Stabio, em o sul do Cantão do Tesino (Suíça) foi construída uma fábrica para produzir deste tipo de baterias

Baterias de íões de lítio

As baterias de íões de lítio representam a tecnologia mais prometedora no campo do armazenamento da energia eléctrica. A eficiência desta tecnologia de armazenamento é notória nos telemóveis, no entanto, o seu uso em veículos eléctricos necessita ultrapassar determinados problemas da segurança e custo elevado.

A sua principal vantagem reside no seu menor peso e sua elevada capacidade de armazenamento.



Imagem 36 – Baterias de íon lítio

Muitos investigadores asseguram que esta tecnologia será alvo de melhorias, podendo ser utilizada em tensões mais elevadas.

Baterias de zinco-ar

O zinco pode competir no futuro com as baterias de combustível de hidrogénio. Alguns investigadores qualificam como o combustível eléctrico do futuro.

Entre as suas principais vantagens destaca-se a sua facilidade de carga e o seu elevado potencial energético.

A diferença em relação a outros tipos de baterias reside na necessidade do carro ser equipado com um sistema de filtragem e injeção de ar. As baterias de zinco-ar são do tipo primárias uma vez descarregada não podem ser recarregadas, é preciso extrair o zinco e carregar fora da bateria. O carregamento do zinco é fácil e rápido. Este tipo de bateria pode proporcionar 3 vezes mais duração que as que chumbo - ácido. As baterias à base de zinco têm a principal vantagem de serem recicladas sem limite, sem perder as suas qualidades químicas nem as suas qualidades físicas.

O zinco é uma fonte limpa e duradora para o futuro, sendo desconhecido o seu impacto no uso massivo no meio ambiente.

O zinco é utilizado na produção de aço galvanizado que representam metade de seu mercado. Um terço do zinco consumido, é produzido da reciclagem.

Energy density benchmarking

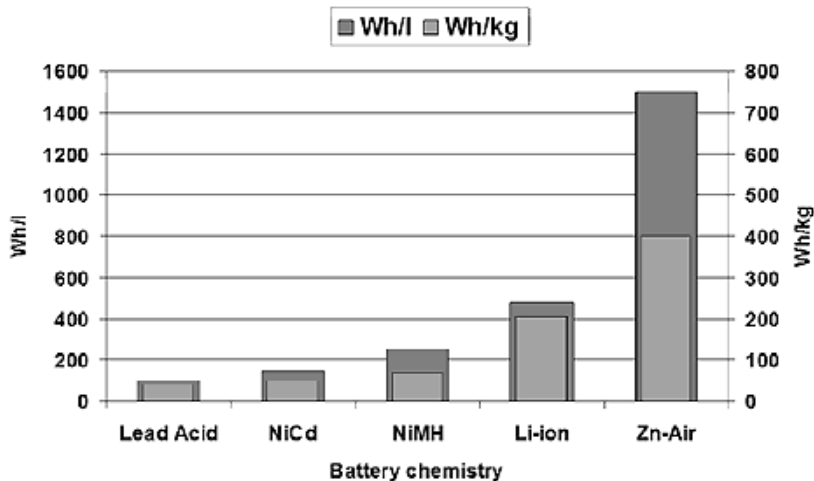


Imagem 37 – Densidade de energia

5.5.2. Carregadores

Um carregador de bateria é um dispositivo usado para fornecer corrente eléctrica a uma ou mais baterias recarregáveis (em simultâneo). A corrente de carga depende da tecnologia e capacidade de carga da bateria. Por exemplo, a tensão ou corrente, que devem ser fornecidos para recarregar uma bateria de carro de 12V deve ser muito diferente que para recarregar um telemóvel.

Os tipos de carregadores podem ser:

Simple

Um carregador simples trabalha fazendo passar uma corrente continua para a bateria que vai ser carregada. O carregador simples não modifica a corrente de saída. Estas simplicidades fazem que o carregador simples seja barato mas também de baixa qualidade. O tempo de carga utilizando este tipo de carregador é elevado de modo a não causar danos por sobrecarga.

Manutenção

Um carregador de manutenção é um tipo de carregador simples que carrega a bateria muito lentamente, à velocidade de auto-descarga. Uma bateria pode-se deixar ligada ao carregador por um tempo indefinido, mantendo-se carregada sem sobrecargas nem aquecimentos. É utilizado para manutenção

da fonte de energia em sistemas autónomos, alarmes ou iluminação de emergência.

Com temporização



A corrente de carga é cortada depois de um tempo programado. Estes carregadores são os mais utilizados para as baterias de Níquel-Cádmio de alta capacidade. É frequente encontrar à venda este tipo de carregadores junto um pack de baterias. O tempo de carga vem configurado para elas. Se forem utilizados para carregar baterias de menor capacidade, estas podem sofrer sobrecarga, e caso sejam utilizadas embaterias de maior capacidade não ficaram carregas por completo.

Imagem 38 - Temporização

Caso a bateria não esteja totalmente descarregada pode produzir uma sobrecarga.

Inteligente

A corrente de saída depende do estado da bateria. Este carregador controla a tensão, a temperatura e o tempo de carga. A carga finaliza quando se obtém uma relação adequada entre a tensão, a temperatura e o tempo de carga.

Em as baterias de Ni-Cd e NiMH, a tensão que pode oferecer à bateria aumenta pouco a pouco durante o processo de carga até que a bateria esteja carregada. Seguidamente a tensão diminui o que indica que ao carregador que está totalmente carregada.

Um carregador inteligente típico carrega a bateria até 85% durante uma hora e depois passa para um regime de carga de manutenção.

Rápido

Um carregador rápido pode usar o circuito de controlo da própria bateria para conseguir uma carga rápida sem danos. Estes carregadores costumam ter um ventilador para manter a temperatura. Actuam como um carregador normal se forem utilizadas em baterias NiMH, que não tem circuito de controlo.

Por pulsos



Imagem 39 – Carregador por pulsos

Alguns carregadores usam tecnologia de carga por impulsos, no qual é aplicado um trem de impulsos de corrente contínua na bateria, o seu tempo de subida, largura, frequência, e amplitude são controlados com grande precisão. Esta tecnologia é utilizada para tensão, capacidade ou composição química. Podem utilizar-se picos de alta tensão sem sobrecarregar a bateria. Numa uma bateria de chumbo - acido descompõe os cristais de sulfato de chumbo, alargando a sua vida útil.

Alguns carregadores utilizam os impulsos para comprovar o estado da bateria.

Indutivas



Imagem 40 – Carregador indutivo

Os carregadores indutivos fazem o uso da indução magnética para carregar baterias. Uma estação de carga envia energia eletromagnética por acoplamento indutivo a qual é armazenada nas baterias.

6. Dimensionamento e seleção de componentes

6.1. Motor

A parte mais importante de nosso projecto reside na escolha do motor, já que dele depende quase tudo, o consumo, as forças que devera superar, o tempo de duração de nossas baterias,..... .

Dos possíveis tipos de motores existentes no mercado, foi escolhido um motor do tipo DC, já que assim não precisamos ter inversores nem filtros para o “ripple” da tensão AC e outras complicações derivadas da utilização de corrente AC, desta forma poupa-se tempo em cálculos e dinheiro e espaço em mais aparelhos eletrónicos. Em termos de dinheiro os motores DC são mais caros que os motores AC.

Com os DC temos peras elevadas que produzem aquecimento e um controlo mais simple. Mas as escovas necessitam de muita manutenção e não permitem velocidades muito elevadas.

Os DC tem uma boa resposta a elevados binários e numa ampla faixa de velocidades

Também os motores do tipo DC podem dar um maior binario constante e maior capacidade de sobrecarga.

6.1.1. Massas

As massas em condições normais do corta relva são:

- Estrutura do corta relva: **113.8 Kg**, medido no laboratório de mecânica.
- Baterias: 4 baterias de 11.16 kg cada uma, no de total **44.64 Kg**.
- Motor: entre **10 e 12 Kg**.
- Microprocessador: será do tipo médio da marca sigma, então **4.1 Kg**
- Cabos: aproximadamente uns 5 metros, **3 kg**.
- Outros: componentes elétricos, sensores, luzes,....., aproximadamente um **3kg**.
- Recolhe-relva cheio de relva: **10 Kg**.
- Operador: **80 Kg**.

A massa em condições de trabalho aproximadamente será de **270 Kg**.

A massa do corta relva é de aproximadamente **190 Kg**.

6.1.2. Forças actuantes

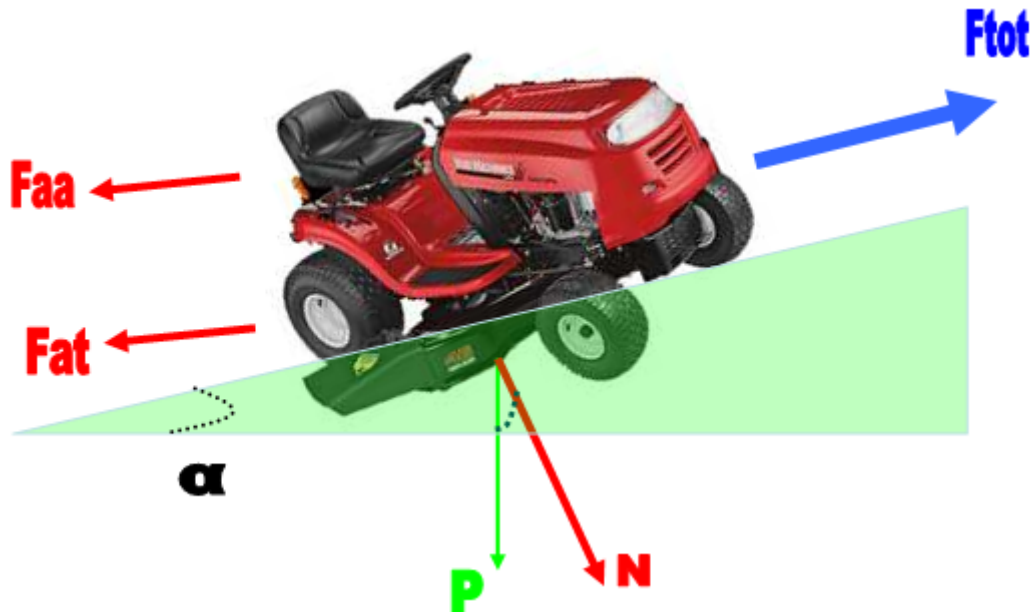


Imagem 41 – Forças no corta relva

Força de arrasto aerodinâmico (Faa)

Faa - Força de arrasto aerodinâmico

A – Área frontal do veículo

Cd – Coeficiente de arrasto

ρ – Densidade do ar

V – Velocidade

$$F_{aa} = \frac{1}{2} \times A \times C_d \times \rho \times V^2$$

- A área frontal de nosso corta relva é 0.4 m²

- O Cd é 0.6

- A densidade do ar é 1.29

- Velocidade=Velocidade de cruzeiro do corta relva+Velocidade média do ar em Viseu=10km/h (2.77m/s) + 10 km/h(2.77m/s)

$$F_{aa} = \frac{1}{2} \times 0.4 \times 0.6 \times 1.29 \times (2.77 + 2.77)^2 = 4.75Nm$$

Força em pendente máxima estimada

Fx - Força paralela ao plano

Fy – Força perpendicular ao plano

α – Ângulo de inclinação

g – Força da gravidade (9,8m/s²)

m – Massa

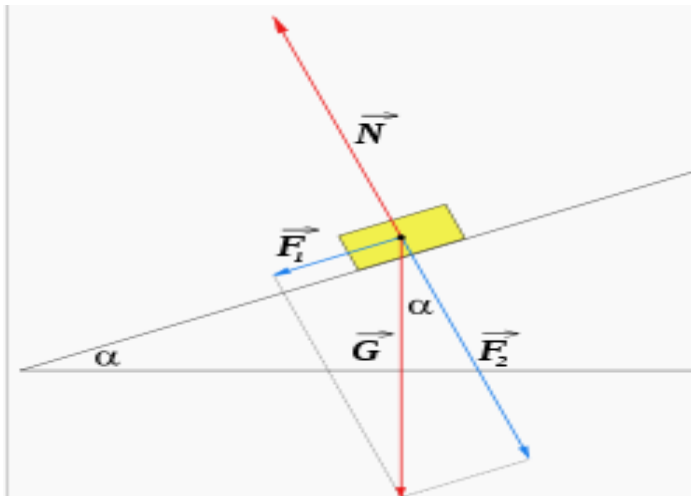


Imagem 42 – Forças em pendente

$$F_1 = \bar{G} \times \text{sen} \alpha$$

$$F_2 = \bar{G} \times \text{cos} \alpha$$

Com:

$$\bar{G} = m \times g$$

$$F_R = \mu \times F_2$$

Então, com um coeficiente de atrito de 0.3

$$F_t = F_1 + F_R = m \times g \times \text{sen} \alpha + m \times g \times \text{cos} \alpha \times \mu = 270 \text{kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{sen} 20^\circ +$$

$$270 \text{kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{cos} 20^\circ \times 0.3 = 1650.91 \text{N}$$

Força de Atrito Rotacional

A força de atrito rotacional apresenta-se quando um corpo roda sobre uma superfície, deformando-se um deles. É uma força resistiva que há que ter em conta.

Fat – Força de atrito rotacional

Crr – coeficiente de atrito rotacional (0.055 para superfícies de relva e arena)

m – Massa

g – Força da gravidade (9,8m/s²)

α – Ângulo de inclinação

$$F_{at} = C_{rr} \times N = m \times g \times \text{cos} \alpha \times C_{rr} = 270 \text{kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{cos} 20^\circ \times 0.055 = 136.75 \text{N}$$

Força total requerida pela roda

É a soma do todas as forças calculadas, então:

$$F_{total} = F_{aa} + F_t + F_{at} = 4.75N + 1650.91N + 136.75N = 1792.41N$$

6.1.3. Binários

Binário necessário da roda

Troda – Binário necessário pela roda

Ftotal – Força requerida pela roda

r – Raio da roda

$$T_{roda} = F_{total} \times r = 1792.41N \times 0.21m = 376.4Nm$$

Binário necessário pelo motor

Tmotor – binário necessário pelo motor

Troda - Binário necessário pela roda

R – Relação entre as polias

$$T_{motor} = T_{roda} \times R = 376.4N \times R, \text{ temos que calcular R. (Ver 6.1.6)}$$

A) Relação entre a caixa de velocidades e a roda

1 volta de roda são 24 voltas da polia da caixa de velocidades, então a relação é:

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$, onde n_1 e n_2 são respectivamente as r.p.m. das polias motora e movida. D_1 e D_2 são respectivamente os diâmetros das polias motora e movida.

$$\text{A relação é } R = \frac{D_2}{D_1} = \frac{24}{1} = 24$$

B) Relação entre a polia intermédia e a caixa de velocidades

A polia intermédia está unida com outra por um eixo, é uma polia composta.

$$R = \frac{D_2}{D_1} = \frac{186}{28}$$

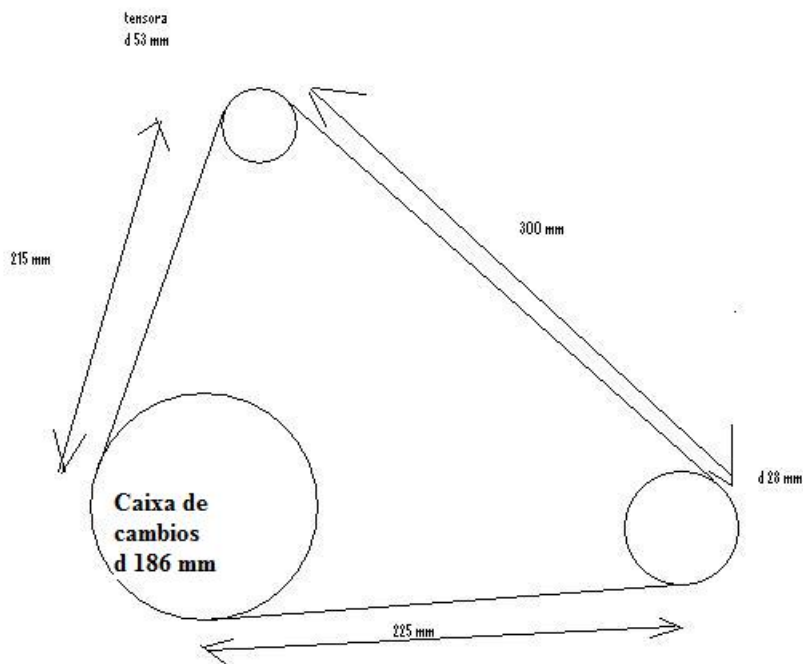


Imagem 43 – Polia intermédia e caixa de câmbios-velocidades

C) Relação entre a polia do motor e a polia intermédia

$$R = \frac{D_2}{D_1} = \frac{94}{122}$$

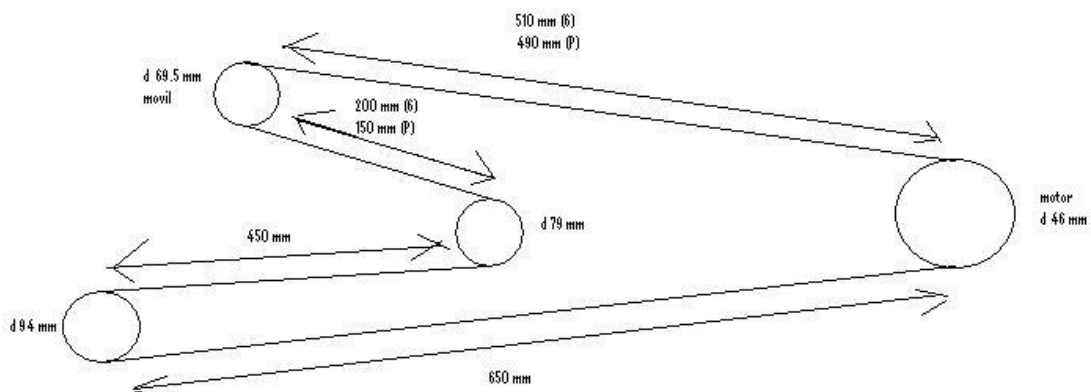


Imagem 44 – Polia do motor e polia intermédia

D) Relação entre a transmissão do motor e a polia do motor

Tem que ser uma relação para que se cumpram os parâmetros de binário do motor. Mas como esta relação era com o motor de combustão, agora temos que refazê-la para o motor eléctrico.

6.1.4. Revoluções e potencia necessárias

Originalmente o motor do corta relva era um Briggs & Stratton “Power Built” de 12.5 H.p. com uma velocidade máxima de 3600 r.p.m. e em regime normal de 2700 r.p.m.

Então nosso corta relva também deverá de ter as mesmas características. Em condições de máxima velocidade as r.p.m. necessárias são:

V – Velocidade máxima do corta relva em m/s

d – diâmetro da roda em m

n – rotações por minuto

$$V = \frac{2 \times \pi \times d \times n}{60}$$

Temo-nos que passar primeiro de km/h a m/s, então:

$$km/h \rightarrow \frac{1000\text{metros}}{3600\text{seg}} \times \text{velocidade} \rightarrow 2.77\text{km/h} \rightarrow 10 \times \frac{1000}{3600} = 2.77\text{m/s}$$

$$V = \frac{2 \times \pi \times d \times n}{60} \leftrightarrow 2.77 = \frac{2 \times \pi \times 0.42 \times n}{60} \leftrightarrow n = 63.04\text{rpm}$$

A potência do motor deverá ser pelo menos, em condições máximas de trabalho de:

$$P = F_{total} \times V_{maxima} = 1792.41\text{N} \times 2.22\text{m/s} = 3979.15\text{W}$$

Mas como a maioria dos motores não possuem um rendimento do 100% a potência não será de 3979.15W. Considerando um rendimento de 85%, então:

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{total}} \rightarrow 0.85 = \frac{3979.15}{P_{total}} \rightarrow P_{total} = \frac{3979.15}{0.85} = 4681.35\text{W}$$

6.1.5. Seleção do motor

Já temos todos os parâmetros:

- Potencia: Tem que ser maior do que 4681.35W
- Velocidade de rotação do motor: 2700 r.p.m (3600 r.p.m. em condiciones máximas)
- Tensão: 48 V (ver ponto 6.2)
- Binário: terá que estar entre 30-40 Nm

Agora temos que fazer pesquisas para encontrar motores que satisfaçam nossas características.

A primeira característica do motor é que tem que funcionar com uma tensão de 48 v porque não há mais espaço para introduzir mais baterias e utilizarmos os carregadores disponíveis no DEE.

Primeiramente fazemos pesquisas nas empresas de Portugal que tem motores como pode ser:

<http://www.batlight.pt/Paginas%20Produtos/Motores/Motores%20DC.htm>

Aqui há muitos motores mas os motores DC que funcionam com 48 V não tem suficiente potência e r.p.m.

Os motores que pesquisamos apresentam pouca potencia como, por exemplo:

http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_motors_pmg132.php

Isto é porque a tensão que pretendemos utilizar é muito baixa e os motores que há para 48 v têm pouca potência.

Também há motores eléctricos muito interessantes, mas são para carrinhos de golfe. Tem a maioria de nossos requerimentos mas uma vez mais só podem debitar uma potência inferior que 4kW.

O maior problema é que a maioria dos motores de 48 V que há no mercado são para motos.

Finalmente encontramos a uma pagina com motores com características parecidas com as nossas especificações:

<http://www.lmcltd.net/index.php?page=motors-and-generators-2>

Então, a melhor solução possível é um motor electrico **LEM-200-127 DC**, que tem as seguintes características:

- Potencia: 8.55 kW
- Rendimento: 88%
- Velocidade de rotação do motor: 2592 r.p.m.
- Tensão: 48 V
- Binário: 31.5 Nm
- Corrente: 215 A

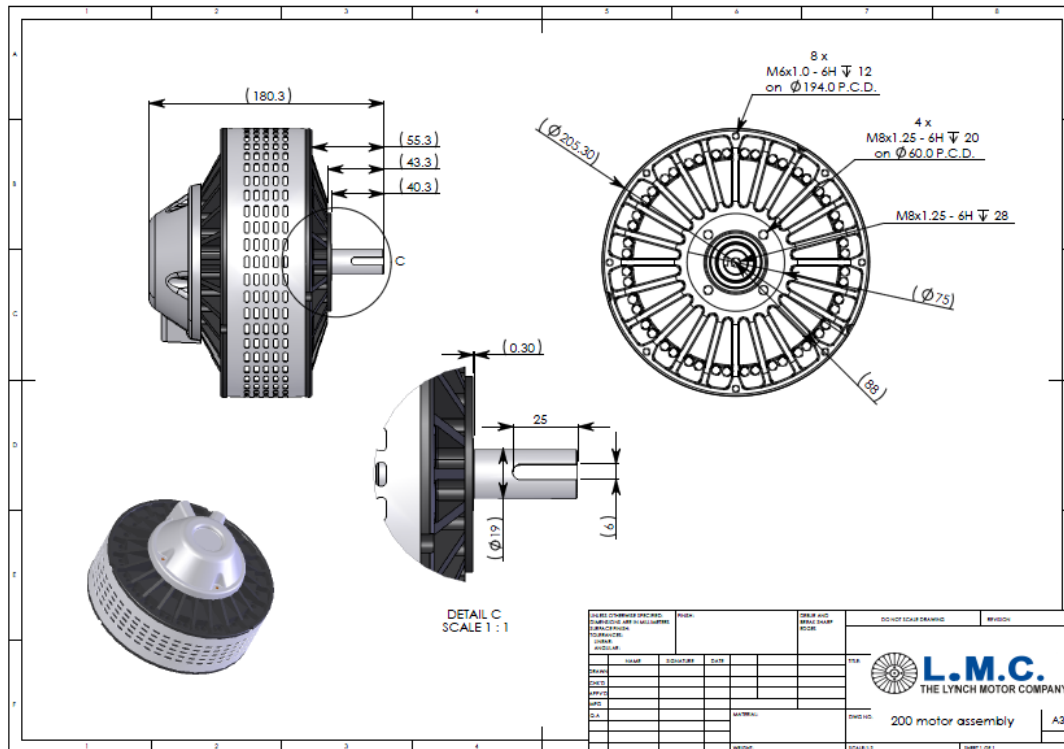


Imagem 45 – Características do motor

6.1.6. Parâmetros a dimensionar

Relação entre saída do motor e a primeira polia (r)

Sabemos que a velocidade máxima é de 10km/h (2.77 m/s e 63.04 r.p.m.), então, para calcular R:

- Relação roda-caixa de velocidades

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_1 = n_2 \times \frac{24}{1} = 63.04rpm \times 24 = 1512.96rpm$$

- Relação caixa de velocidades-polia intermédia

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_1 = n_2 \times \frac{186}{28} = 1512.96rpm \times \frac{186}{28} = 10050.37rpm$$

- Relação polia do motor e polia intermédia

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_1 = n_2 \times \frac{94}{122} = 10050.37rpm \times \frac{94}{122} = 7743.73rpm$$

Então, para saber a ultima relação a dimensionar, temos que a velocidade máxima do motor é 2592 r.p.m. no entanto, vamos colocar um factor de de

segurança de 10% para que o motor não trabalhe à sua máxima velocidade porque pode ser contraproducente:

$$n_1 = 0.9 \times 2592 \text{rpm} = 2332.8 \text{rpm}$$

$$n_2 = 7743.73 \text{rpm}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_1 = n_2 \times r \rightarrow 2332.8 \text{rpm} = r \times 7743.73 \text{rpm} \rightarrow r = 0.3$$

Então: $R = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow D_2 = 0.3D_1$, como a última polia é uma polia composta unida

por um eixo com a primeira, que tem um diâmetro de 122 mm e a outra com um diâmetro de 44.4 mm:

$$r = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow D_2 = 0.3D_1 = 0.3 \times 44.4 = 13.32 \text{mm}$$

Cálculo do Binário

No ponto 6.1.3. temos que nosso binário depende de a relação total(R) entre as polias: $T_{motor} = T_{roda} \times R = 376.4N \times R$, a relação é:

$$r_n = \frac{D_{motor}}{D_{saída}};$$

$$R = r_1 \times r_2 \times r_3 = \frac{44.4}{13.32} \times \frac{122}{94} \times \frac{28}{186} \times \frac{1}{24} = 0.0271$$

Finalmente: $T_{motor} = T_{roda} \times R = 376.4N \times R = 376.4 \times 0.0271 = 10.21Nm$

Nosso motor tem um binário de 31.5 Nm, então é suficiente porque apenas necessitamos de 10.21 Nm para a tracção.

Ainda podemos aumentar a relação(R) do nosso corta relva para que possa ter mais velocidade e mesmo assim o binário será suficiente. Se por exemplo, tivermos uma velocidade máxima de 100 r.p.m. à saída a relação seria de $R=0.0428$ e o binário necessário seria de 16.135 Nm.

6.1.7. Corte

A parte fundamental de nosso corta relva. Esta composta por duas facas de grau volume movidas pelas polias correspondentes que enlaçam com a polia motora. A primeira polia é a parte mais pequena da polia composta, mas que o primeira polia esta para mover as rodas e esta é para mover as facas do corte.

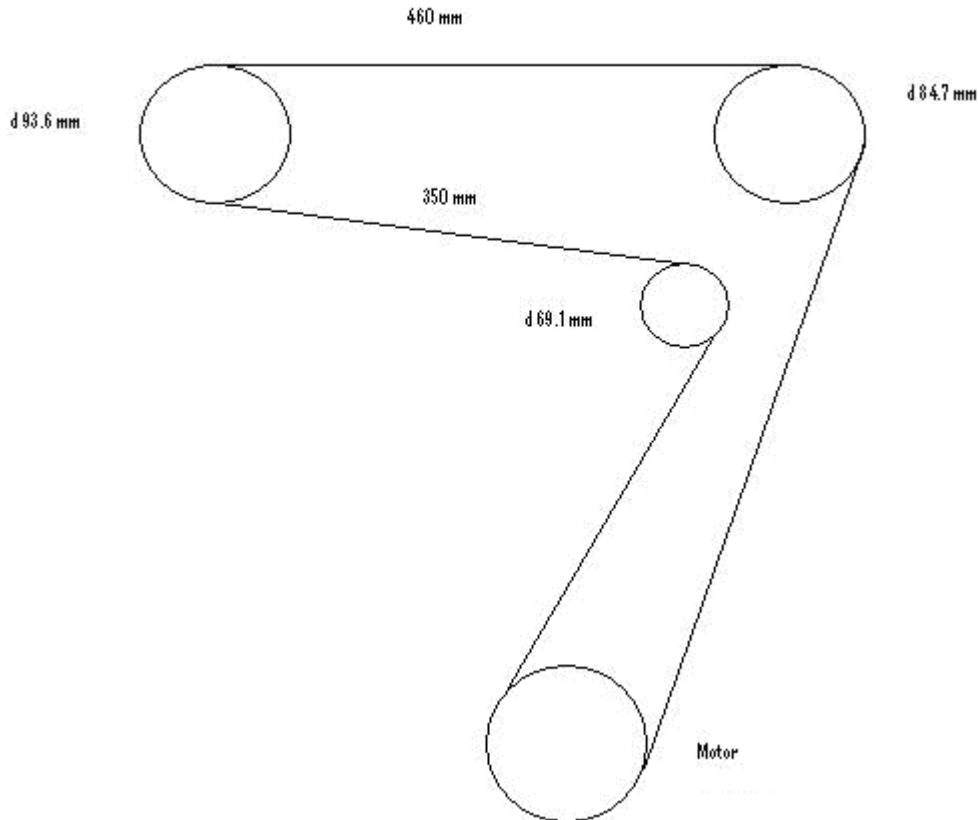


Imagem 46 – Medidas das polias de corte

A relação de velocidade é $r=0.3$ e a velocidade na polia composta será de 7743.73 rpm. Com diâmetro da polia composta para o corte de 44.4mm temos:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_2 = n_1 \times \frac{D_1}{D_2} = 7743.73 \times \frac{44.4}{93.6} = 3673.3rpm \text{ para a primeira faca.}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow n_2 = n_1 \times \frac{D_1}{D_2} = 7743.73 \times \frac{44.4}{84.7} = 4059.28rpm \text{ para a segunda faca.}$$

Para o binário necessário para cortar relva é complicado de calcular porque não sempre teríamos a mesma densidade de relva nem a mesma grossura de relva nem mesmo tipo da relva. Mas da igual por que precisamos dum binário necessário maximo para o bom funcionamento do corta relva de 10.21 Nm e nosso motor tem um binário de 31.5 Nm. Então temos uma margem de segurança muito elevado já que o binário que precise o corte não será maior que um 40-50% mais, isto é, como muito será preciso um binário de 20 Nm.

6.2. Alimentação

6.2.1. Baterias

A tensão com a que o corta relva vai a funcionar é de 48 V. Maioritariamente, toda a potência consumida pelo corta relva é para o funcionamento do motor. Como o nosso motor precisa de 48 V, temos que ter no mínimo essa tensão porque se não precisaríamos de conversores de tensão.

Então, a melhor solução é utilizar 4 baterias de 12 V ligadas em série porque $4 \times 12 \text{ V} = 48 \text{ V}$.

A seleção das baterias é muito importante, já que o corta relvas tem que trabalhar em zonas onde há desníveis, poeiras e alguma humidade. Também são importantes as dimensões porque o corta relvas é um corta relvas muito compacto.

O peso das baterias influencia o consumo final porque são uns dos componentes com mais peso no corta relva e pode ser contraproducente que tenhamos muita autonomia, mas muito peso significa um consumo mais elevado.

As baterias a utilizar são baterias OPTIMA YellowTop Modelo YT S 2.7, as suas características mais importantes são:

- 38 Ah
- 0,0046 Ω de resistência interna
- 11,6 kg
- A carga flutuante fica entre 13,2 e 13,8 volts
- Tempo de duração a: 25 A de consumo, 26.7 °C e 10.5 V é de 66 minutos

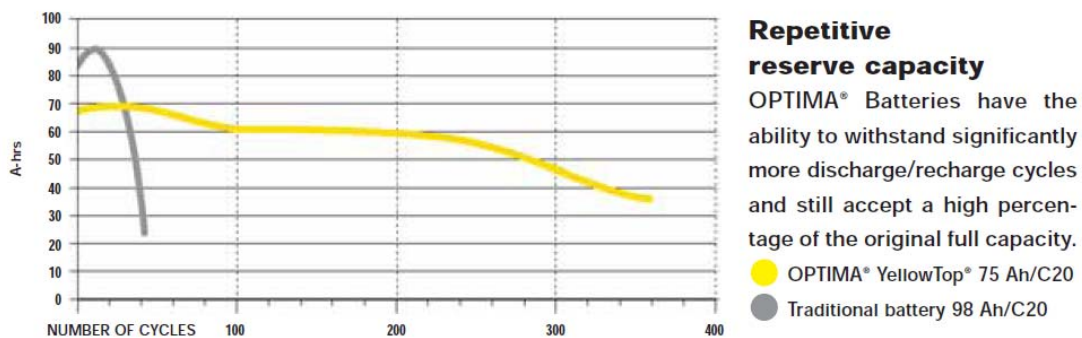
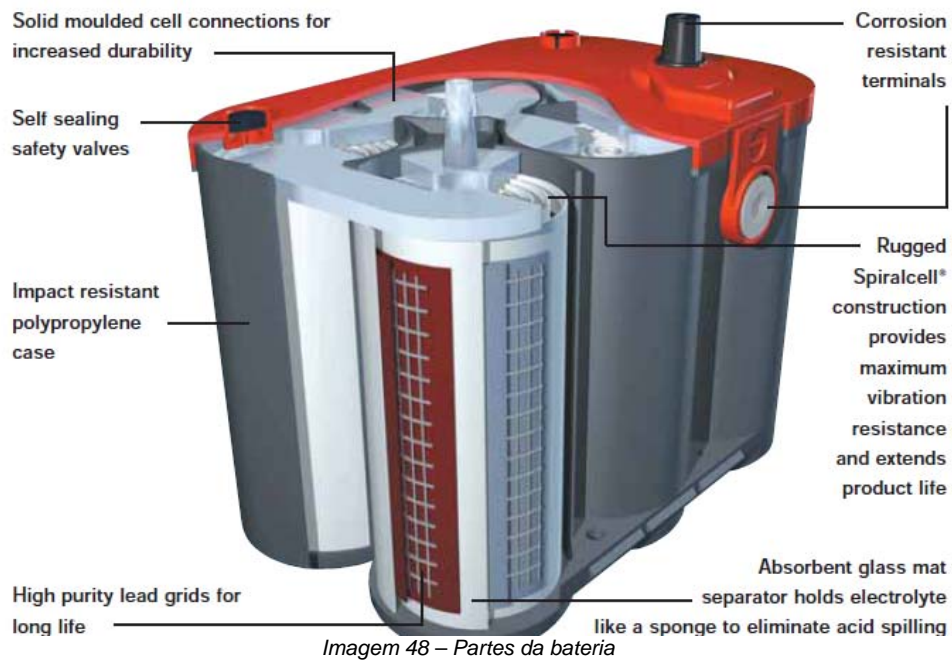


Imagem 47– Capacidade de armazenamento das baterias

Para carregar estas baterias é recomendável um carregador de baterias de 13,8 até 15 volts com 10 A e com um tempo de carga de 10 horas.



Estas baterias têm um alto potencial no arranque nos primeiros 10 críticos segundos, uma larga vida e podem ser carregadas muitas vezes sem perder suas prestações originais. Seu nível de descarga é de 25 A. Também são muito resistentes às vibrações e são especialmente fortes em veículos “off-road”, isto é, veículos que não usem apenas estradas asfaltadas. Isto é perfeito, porque os corta relvas são usados a maior parte do tempo em campos de relva.



Imagem 49 – Baterias OPITMA

As baterias estão feitas com Acido Sulfúrico (H_2SO_4) e a carcaça é de plástico de polipropileno. Este plástico um tipo de plástico que pode ser moldado usando apenas aquecimento, ou seja, é um termoplástico.

Por isso, sempre temos que ter muito cuidado na carga das baterias e com a sua instalação porque o acido sulfúrico é muito corrosivo e perigoso.

Para saber o rendimento das baterias nosso sistema é preciso calcular a diferença entre os diferentes potenciais.

Performance Data:

Open Circuit Voltage (Fully charged):	13.1 volts
Internal Resistance (Fully charged):	0.0046 ohms
Capacity:	38 Ah (C/20)
Reserve Capacity:	BCI: 66 minutes (25 amp discharge, 80°F (26.7°C), to 10.5 volts cut-off)

$$E_{\text{de circuito aberto}} = 13.1V$$

$$R_{\text{interna}} = 0.0046\Omega$$

U= tensão das baterias

$$I_{\text{motor}} = 215A$$

$$U = E + R \times I = 13.1 + 0.0046 \times 215 = 14.089V$$

Agora para as potências:

$P_{\text{util}} = n_{\text{baterias}} \times E \times I$, mas para saber I há que saber qual é a intensidade pelos cabos do corta relva:

$$P_{\text{motor}} = P_{\text{total}} \times \eta_{\text{controlador}} \times \eta_{\text{motor}} \rightarrow P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{motor}}}{\eta_{\text{controlador}} \times \eta_{\text{motor}}}$$

$$= \frac{8.55kW}{0.95 \times 0.88} = 10227.27W$$

$$P_{\text{total}} = U_{\text{motor}} \times I \rightarrow I = \frac{P_{\text{total}}}{U_{\text{motor}}} = \frac{10227.27W}{48V} = 213.06A$$

Então:

$$P_{\text{util}} = n_{\text{baterias}} \times E \times I = 4 \times 13.1 \times 213.06 = 11164.34W$$

A potencia total será:

$$P_{\text{total}} = n_{\text{baterias}} \times U \times I = 4 \times 14.089 \times 213.06 = 12007.21W$$

E o rendimento:

$$\eta_{\text{baterias}} = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{total}}} = \frac{11164.34W}{12007.21W} = 0.929 \leftrightarrow 92.9\% \text{ de rendimento}$$

6.2.2. Cabos

Agora temos que calcular a dimensão dos cabos eléctricos do corta relva.

$$P_{motor} = P_{total} \times \eta_{controlador} \times \eta_{motor} \rightarrow P_{total} = \frac{P_{motor}}{\eta_{controlador} \times \eta_{motor}}$$

$$= \frac{8.55kW}{0.95 \times 0.88} = 10227.27W$$

E para saber a intensidade nos cabos de nosso corta relva:

$$P_{total} = U_{motor} \times I \rightarrow I = \frac{P_{total}}{U_{motor}} = \frac{10227.27W}{48V} = 213.06A$$

O corta relvas trabalhará com uma temperatura media de 15 °C, mas nos meses de Julho o Junho a temperatura poderá ser de 25-30°C. Então, escolheremos uns cabos da companhia RADALEX, com um factor de correção de 0.96 relativo à temperatura.

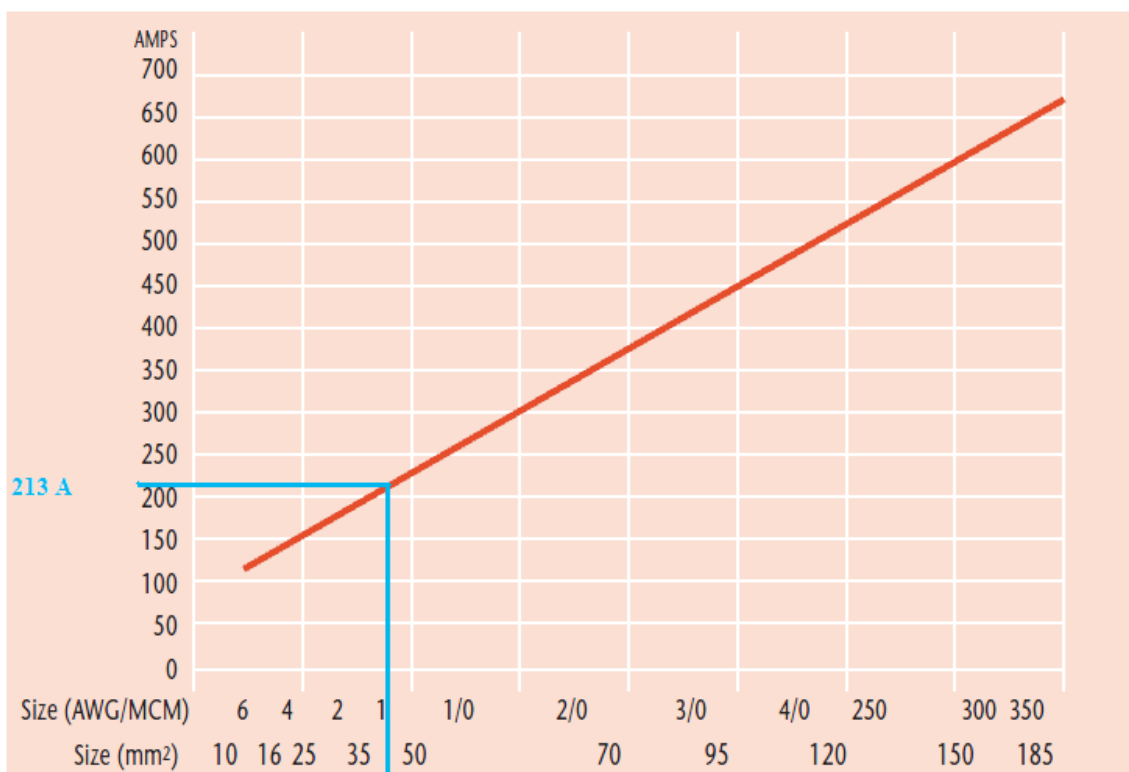


Imagem 50– Gráfica Intensidade-seção dos cabos

Como podemos ver, os cabos tem que ter uma secção entre os 35-50 mm².

AWG/MCM	Loading current in amps for the following duty cycles				
	100%	85%	60%	30%	20%
6	125	135	161	228	280
4	160	174	207	292	358
3	188	204	243	343	420
2	220	239	284	402	492
1	250	271	323	456	560
1/0	300	325	387	548	670
2/0	350	380	452	639	782
3/0	400	434	516	730	894
4/0	470	510	607	858	1050
250	520	564	671	949	1163
300	580	629	749	1059	1297
350	640	694	826	1168	1431
400	700	759	904	1278	1565

Imagem 51– Tabela dos cabos

Para ter uma maior segurança, escolheremos os cabos 1/0, já que no arranque pode-se ter um pico de corrente muito elevado.

Fusível

Para a protecção de o motor temos que por um fusível de elevada capacidade entre as baterias conectadas em serie e o motor. O fusível pelo menos será de 215 A porque é la intensidade máxima que o motor consume em condições nominais. Mas pode haver intensidades de pico muito elevadas no arranque. Para evitar isso pomos um fusível de 300 Ae 48 V em DC. O melhor possível é o fusível CF8 “Compact Fuse”, com uma capacidade de ruptura de 1500 A á 48 V.

• Limits for Pre-arcing Time							
Rated Current	100%	135%	150%	200%	300%	400%	600%
50A ... 300A	> 100h	< 60min	1 ... 600s	0.2 ... 60s	0.05 ... 1.5s	0.02 ... 0.5s	< 0.2s
Permissible continuous operating current is $\leq 80\%$ at ambient temperature of 23°C (73.4°F).							
Rated Current / Rated Voltage	Amp Code	Breaking Capacity	Voltage Drop (max) 100% x I _{Rated} (P) (mV)	Power Dissipation (avg) 150% x I _{Rated} (P) (W)	Melting Integral (avg) 1000% x I _{Rated} (P) (A ² s)	Cold Resistance (max) (P) (Ω)	Test Cable (mm ²)
50.00A / 48V	550	1500A at 48VDC	97	4.9	1500	0.00135	10
75.00A / •	575		80	6	9000	0.00072	10
100.00A / •	610		76	7.7	10500	0.00054	16
125.00A / •	612		72	8.9	41000	0.00042	16
150.00A / •	615		56	8.5	40000	0.00027	25
175.00A / •	617		60	11	95000	0.0002	25
200.00A / •	620		59	12	110000	0.0002	35
250.00A / •	625		61	15	180000	0.00015	50
300.00A / •	630		61	18	270000	0.00015	70

Imagem 52 – Tabela de características do fusível

6.2.3. Recarga

O tempo de recarga mais recomendável será o tempo nos Data-sheets das baterias OPTIMA.

- Com alternador de 13.65 até 15 volts.
- Com carregador de baterias (a tensão constante):
 - de 13.8 até 15 volts.
 - 10 amperes como Maximo.
 - tempo de carga será entre 6 e 12 horas.
- Tempos:

Recharge Time: (example assuming 100% discharge – 10.5 volts)

Current	Approximate time to 90% charge
100 amps	25 minutes
50 amps	65 minutes
25 amps	130 minutes

Preferimo-nos carregar as baterias com um carregador do tipo Zivan F4EG 48V.

As características de este carregador são:

- Para redes de 230 V em AC e 50 Hz
- Corrente de saída de 15 A
- Tensão nominal das baterias de 48 v (4 bateriasx12v cada uma delas)
- Capacidades recomendadas das baterias de 80-190 Ah
- Rendimento maior que 85% para todas as condições de recarga
- Peso 2,2 kg
- Tamanho: 300x160x80 mm
- Frequência de comutação 50 Khz±5%
- Factor de potência (cosφ) de 0.68

Os valores de 80-190 Ah são muito elevados para nossas baterias, mas o carregador Zivan pode ser reprogramado para cada caso pretendido.



Imagem 53 – Carregador Zivan <http://www.zivanusa.com/NG1BatteryCharger.htm>

6.3. Controlador

Depois de calcular as características mecânicas necessárias do motor e as suas características eléctricas para a alimentação, o próximo passo é escolher um driver para variar a velocidade e binário do motor.

Estima-se que o motor de 48 V com uma potência de 8,55 kW e uma corrente de 215A.



Imagem 54 - Sigmadrive

Decidimos-nos optar pela empresa PG Drives Technology e mais especificamente em sua família de controladores Sigmadrive.

Devido à consola de programação ser muito fácil de configurar o arranque, a curva de aceleração, velocidade máxima, aceleração máxima...

É também um controlador projectado para resistir a ambientes agressivos, como água e poeira, dado que para que o nosso cortador tem de operar no exterior é muito apropriado.



Imagem 55 – Modelo PMT465L

O modelo escolhido será o PMT465L com uma tensão de saída de 24-48 volts, com correntes de até 650 ampères por 2 minutos e 260 ampères durante uma hora.

6.4. Soluções técnicas e estruturais

Isto é, onde colocar os componentes electrónicos e eléctricos já que alguns como as baterias e o motor são muito grandes e pesados. Então, temos que colocar-los de forma que não modifiquem significativamente a distribuição original de pesos.

6.4.1. Cabos e ligações

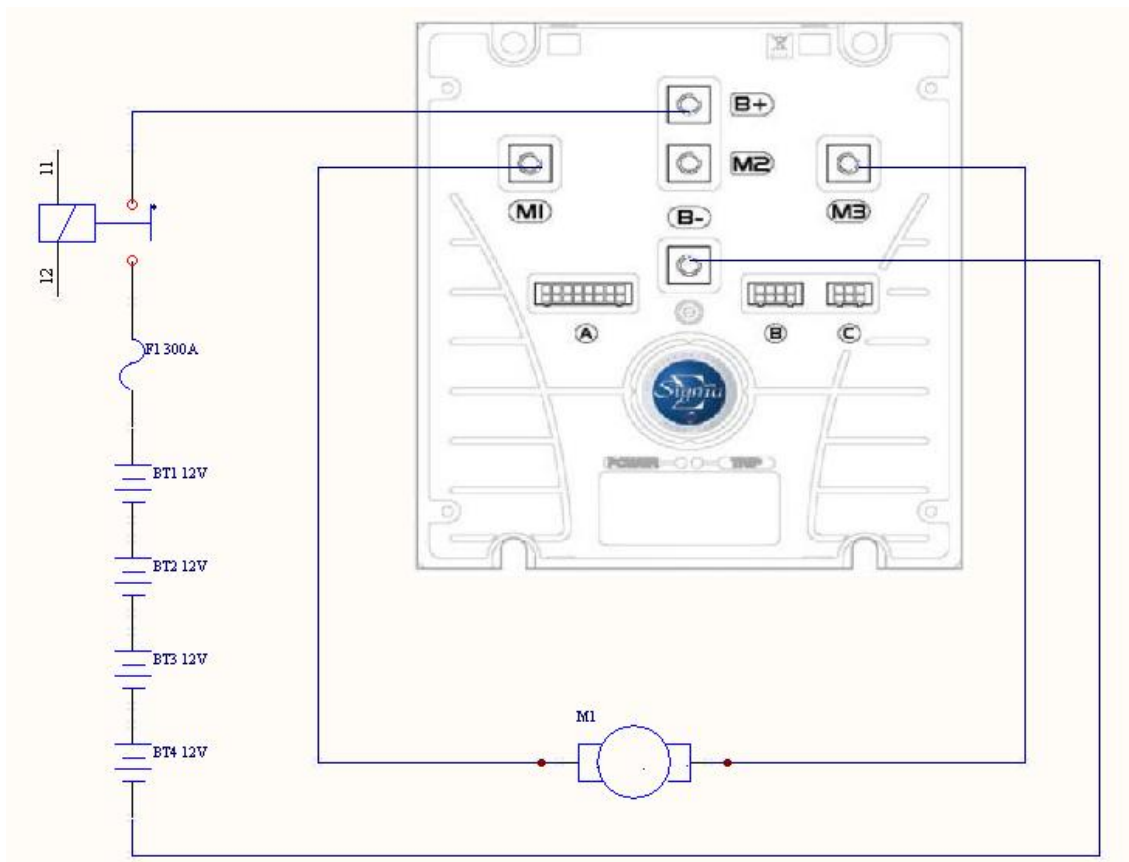


Imagem 56 – Cabos e controlador sigma

6.4.2. Posicionamento dos componentes

Esta imagem mostra o esquema do corta relvas com o frente da máquina com medidas.

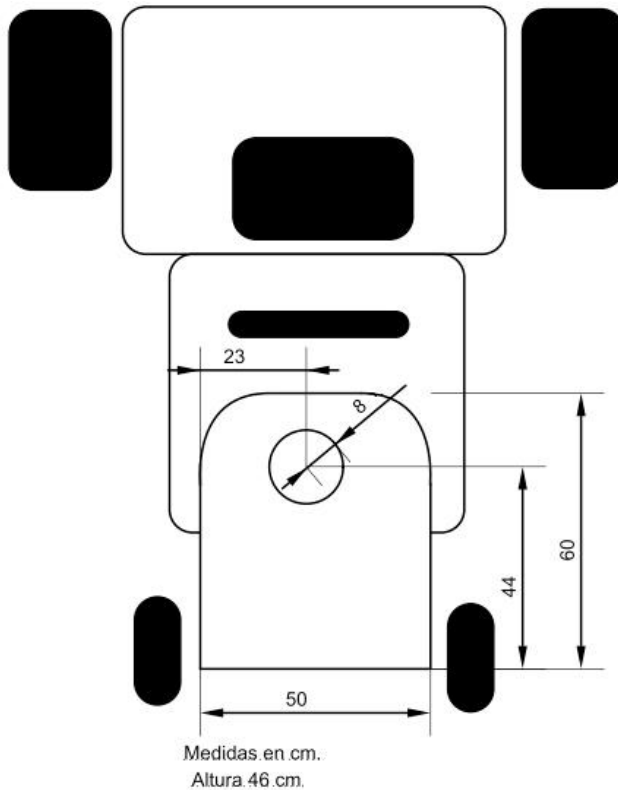


Imagem 57 – Vista aérea do corta relva

O buraco do eixo do motor já está feito e isso será a nossa referência. Considerando o espaço disponível, a opção mais viável é colocar duas baterias na frente, acima do eixo das rodas dianteiras e o outro colocado com uma estrutura situada por cima do motor. Este seria ligado diretamente ao eixo das polias principais.

O controlador pode ser colocado mais próximo da área do volante, mas se precisáramos de um fluxo de ar para a refrigeração poderia ser colocado na grelha frontal.

6.5. Montagem

A montagem seria realizada nas instalações da ESTGV quando tivéssemos tudo o material disponível. Primeiro, o corta relvas foi desmontado das partes relacionadas com o motor de combustão. Depois tiramos todos os cabos e os sensores que encontramos.

Para começar a fazer o relatório tivemos que desmontar o corte e medir as relações entre as polias.



Imagem 58 – Corte do corta relva

Na desmontagem do corte teve partes de plástico que tiramos fora.

Para a montagem do motor eléctrico e das baterias teremos que fazer alterações na estrutura do corta relva.

Em relação aos cabos, estes têm que ir das baterias ao motor, para isso teremos que fazer reforços na estrutura que suportar o peso.

Também modificaremos o painel perto do volante para pôr o acelerador e algum controlo mais.

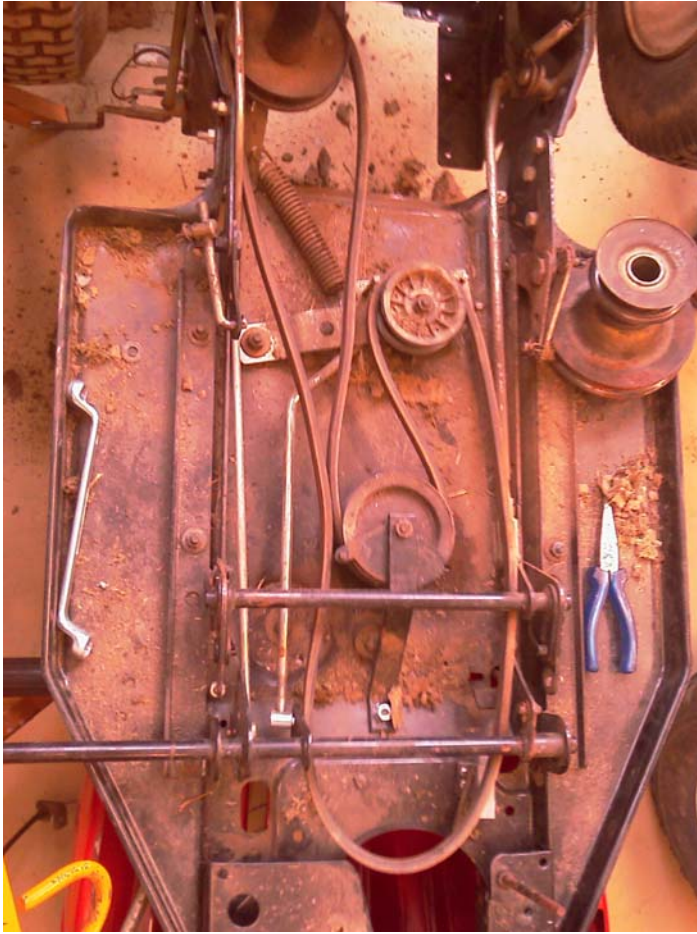


Imagem 59 – Polias de transmissão

6.6. Rendimento

O rendimento é a parte mais importante, já que o rendimento das máquinas com motor de combustão é muito baixo, cerca de 20-30% e a restante energia é desperdiçada. O rendimento total é a multiplicação de todas as partes de nosso sistema desde a tomada de 230V até chegar energia às rodas e laminas de corte.

Rendimento elétrico

- Baterias:

$\mu = 92.9\%$ (apartado 6.2.1)

- Motor:

$\mu = 88\%$ (apartado 6.1.5)

- Controlador:

$\mu = 0.94$ (apartado 6.3)

- Carregador

$\mu > 85\%$ (apartado 6.2.3)

Então, o rendimento eléctrico será de:

$$\mu_{\text{electrico}} = \mu_{\text{bat}} \times \mu_{\text{contr}} \times \mu_{\text{motor}} = 0.929 \times 0.94 \times 0.88 = 0.768 \rightarrow \mu_{\text{electrico}} = 76.8\%$$

Rendimento mecânico

- Correias das polias

$\mu = 95-97\%$

- Polias (roçamento com o eixo)

$\mu = 98\%$ (quase depreciável)

- Caixa de velocidades

$\mu =$ variável, mas a velocidade será controlada pelo controlador, ficando fixa à polia que faz a relação entre uma posição que poderá ser na 3ª ou 4ª marcha. O corta relvas tem 6 marchas para a frente, 1 ponto morto e 1 para atrás.

$\mu = 70\%-80\%$

$$\mu_{\text{mecanico}} = \mu_{\text{correias}} \times \mu_{\text{polias}} \times \mu_{\text{caixa}} = 0.95 \times 0.98 \times 0.7 = 0.6517 \rightarrow \mu_{\text{mecanico}} = 65.17\%$$

Rendimento total

$$\mu_{\text{total}} = \mu_{\text{mecanico}} \times \mu_{\text{electrico}} = 0.768 \times 0.6517 = 0.5 \rightarrow \mu_{\text{total}} = 50\%$$

6.7. Autonomia

A autonomia depende em sua maioria nas baterias e regime de funcionamento do motor. A autonomia de nosso corta relva pode ser muito variável, já que pode trabalhar um dia em zonas planas com poça relva e a autonomia será grande, mas se trabalhamos em zonas com relva grossa e com muita pendente a autonomia será muito pequena. Não tem sentido falar de km recorridos.

Para Maximo trabalho possível e piores condições

Capacidade das baterias= 38 Ah

Intensidade máxima necessária pelo motor=213.06 A

$$I_{bat} = t \times I_{max} \rightarrow t = \frac{I_{bat}}{I_{max}} = \frac{38Ah \times 4}{213.06A} = 0.7134h \rightarrow t = 42 \text{ minutos}$$

Para condições normais de trabalho

- Para r.p.m. máximas:

$n_{max}=2332.8$ r.p.m.

Características do motor

$R_{motor}=22.5$ m Ω

$K_{torque}=0.15$ Nm/A

$K_v=54$ Rpm/V

$$E = \frac{1}{K_v} \times n = \frac{1}{54} \times 2332.8 = 43.2V$$

$$V = R_{motor} \times I_{motor} + E \rightarrow I_{motor} = \frac{V - E}{R_{motor}} = \frac{48v - 43.2v}{0.0225m\Omega} = 213.33A$$

Igual que para o Maximo trabalho, t=42 minutos

- Para Maximo binário:

$T_{cond.max.}=10.22$ Nm, mas em condições de trabalho real e com máximo trabalho no corte, o binário será como máximo um 40-50% mais, então $T_{maximo}=20$ Nm.

$$I_{motor} = \frac{1}{K_t} \times M = \frac{1}{0.15} \times 20 = 133.33A$$

$$I_{bat} = t \times I_{max} \rightarrow t = \frac{I_{bat}}{I_{max}} = \frac{38Ah \times 4}{133.33A} = 1.14h \rightarrow t = 68 \text{ minutos}$$

6.8. Tempo de carga das baterias e consumo

T_{carga} - Tempo de carga

CB – Capacidade nominal da bateria

EC – Estado de carga da bateria

CC – Corrente de carga

$$t_{carga} = \frac{(100 - EC) \times CB}{100 \times CC} \times 1.2$$

Tendo em conta que as baterias estão completamente descarregadas vamos assumir o estado de carga igual a 5% porque as baterias sofrem se descarregam completamente.

$$t_{carga} = \frac{(100 - EC) \times CB}{100 \times CC} \times 1.2 = \frac{(100 - 5) \times 38}{100 \times 15} = 2.4 \text{ horas, então } 2 \text{ horas e } 24 \text{ minutos.}$$

Nota: cálculos sacados de projecto 2009 Conversão moto 4 pagina 40

Consumo eléctrico da rede

$$\text{Consumo} = P \times t = 4 \text{ baterias} \times 12V \times 15A \times 2.4h = 1728Kwh$$

6.9. Orçamento

Descrição	Fabricante	Quantidade	Preço unitário €	Preço final €
Contactos corrente continua	Ametec	1	62.24	62.24
Contacto emergência		1	26.79	26.79
Pole conector		1	3.97	3.97
Motor 200-127 DC		1	1044.17	1044.17
Sigmadrive	PG Drives technology	1	553.2	553.2
Programer Sigma drive	PG Drives technology	1	410.76	410.76
Baterias	Optima bateries	4	219.29	877,16
Cabos PC50-M	Radaflex	8 (m)	11.6 (€4m)	23.2
Post Terminal Clamps - Heavy Duty to suit 60 mm Cable		8	4.41	35.28
Power Cable Terminal Eyelets 35 mm ² - 6, 8, ou 10 mm Holes		8	0.78	6.24
Carregador F4EG 48 V	Zivan	1	553.2	553.2

6.10. Planificação

Este é o cronograma da realização de este projecto, desde que foi iniciado o dia 22 de Fevereiro, até à sua apresentação e exposição.

Mês	Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho				Julio			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pesquisa informação			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Memória												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Cálculos												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Toma de dados.						■	■		■		■			■	■									
Desenho da solução													■	■	■									
Montagem																		■	■	■	■	■		
Instalação de motor																		■	■					
Instalação de baetrias																			■	■				
Programação de controlador																			■	■				
Medições																				■	■	■		
Orçamento																							■	

7. Bibliografia e linkografia

Historia dos Corta relvas

http://en.wikipedia.org/wiki/Lawn_mower

Tratores

<http://en.wikipedia.org/wiki/Tractor>

Transmissão de correias

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/transmisioncorrea

Consultas gerais

ESTV, Projecto 2009 – Conversão Moto 4, autores: João Bastos, Luis Nunes e Tiago Campos.

8. Índice de imagens

	Página
<i>Imagem 1 – Corta relva cilíndrico</i>	9
http://www.greenandeasy.co.uk/userfiles/image/Cylinder%20Mower%20Diagram.jpg	
<i>Imagem 2 – Corta relva rotativo</i>	10
http://learn.ecomowers.com/wp-content/uploads/2009/05/rotary-mower1.jpg	
<i>Imagem 3 – Características dos motores ABB monofásicos</i>	12
<i>Imagem 4 – Características dos motores ABB trifásicos</i>	12
<i>Imagem 5 – Características motores ISGV trifásicos</i>	13
<i>Imagem 6 – Funcionamento dos imanes do motor</i>	14
<i>Imagem 7 – Campos indutivos no motor</i>	14
<i>Imagem 8 – Influencia dos pólos</i>	15
<i>Imagem 9 – Comutação controlada dum motor</i>	15
<i>Imagem 10 – Voltagem médio</i>	16
<i>Imagem 11 – Voltagem médio</i>	16
<i>Imagem 12 – Tabela de tipos de motor GOLDEN MOTOR</i>	17
<i>Imagem 13 – Tabela de tipos de motor LAFERT SERVO</i>	18
<i>Imagem 14 – Forças indutivas e densidade de fluxo</i>	18
<i>Imagem 15 – Funcionamento dum motor DC com escova</i>	19
<i>Imagem 16 – Partes dum motor DC com escova</i>	19
<i>Imagem 17 – Tipos de motores LMC</i>	21
<i>Imagem 18 – Tipos de motores Rotomag</i>	21
<i>Imagem 19 – Tipos de motores ACM</i>	21
<i>Imagem 20 – Motor Directdrive instalado numa roda</i>	22
<i>Imagem 21 – Tabela dos motores Directdrive Lafert</i>	23
<i>Imagem 22 – Conjunto gerador - inversor para uma carga</i>	24
<i>Imagem 23 - Um divisor de tensão simples</i>	25
<i>Imagem 24 - Tipos de conversores estáticos</i>	26
<i>Imagem 25– Montagens Chopper no quadrante 1</i>	27
<i>Imagem 26 – Vista microscópica dum micro processador</i>	28
<i>Imagem 27 – Controle por malha aberta</i>	29
<i>Imagem 28 – Controle por malha fechada</i>	30
<i>Imagem 29 - Resolver</i>	31
<i>Imagem 30 – Partes dum encoder</i>	31
<i>Imagem 31 – Funcionamento dum tacômetro</i>	32
<i>Imagem 32 – Galga</i>	32
<i>Imagem 33 – Bateria de Chumbo</i>	34
<i>Imagem 34 – Baterias níquel-cádmio</i>	35
<i>Imagem 35 – Baterias sódio-cloreto</i>	35
<i>Imagem 36 – Baterias de Íon Lítio</i>	36
<i>Imagem 37 – Densidade de energia</i>	37

<i>Imagem 38 – Temporização</i>	38
<i>Imagem 39 – Carregador por pulsos</i>	39
<i>Imagem 40 – Carregador indutivo</i>	39
<i>Imagem 41 – Forças no corta relva</i>	41
<i>Imagem 42 – Forças em pendente</i>	42
<i>Imagem 43 – Polia intermédia e caixa de câmbios-velocidades</i>	44
<i>Imagem 44 – Polia do motor e polia intermédia</i>	44
<i>Imagem 45 – Características do motor</i>	47
<i>Imagem 46 – Medidas das polias de corte</i>	49
<i>Imagem 47 – Capacidade de armazenamento das baterias</i>	50
<i>Imagem 48 – Partes da bateria</i>	51
<i>Imagem 49 – Baterias OPITMA</i>	51
<i>Imagem 50 – Gráfica Intensidade-secção dos cabos</i>	53
<i>Imagem 51 – Tabela dos cabos</i>	54
<i>Imagem 52 – Tabela de características do fusível</i>	55
<i>Imagem 53 – Carregador Zivan</i>	56
http://www.zivanusa.com/NG1BatteryCharger.htm	
<i>Imagem 54 – Sigmadrive</i>	57
<i>Imagem 55 – Modelo PMT465L</i>	57
<i>Imagem 56 – Cabos e controlador sigma</i>	58
<i>Imagem 57 – Vista aérea do corta relva</i>	59
<i>Imagem 58 – Corte do corta relva</i>	60
<i>Imagem 59 – Polias de transmissão</i>	61

9. Anexos

Anexo I - Diretiva de Compatibilidade Eletromagnética 2004/108/CE

Anexo II - Diretiva de Baixa Tensão 2006/95/CE