

PROJETO PONTE H COM PAR COMPLEMENTAR E SINAIS DE HABILITAÇÃO E DIREÇÃO

Por Eng. Roberto Bairros dos Santos

www.bairrospd.com

CANAL YOUTUBE: Professor Bairros.

Data: 24/08/2018

Sumário

Prefácio.....	3
Introdução.....	4
Funcionamento.....	5
Circuito de entrada dos sinais de controle.....	6
O circuito da alimentação auxiliar (+VEM).....	8
O circuito de inversão de rotação (NOT_DIR).....	9
O circuito de potência anti-horário.....	10
Como ligar o transistor Q3 de acionamento do sentido anti-horário.....	15
O circuito de potência horário.....	16
Como ligar o transistor Q6 de acionamento do sentido horário.....	17
Circuito que desliga o sentido horário quando a rotação é invertida.....	18
A conexão do motor.....	20
O circuito de controle de corrente.....	21
O circuito de proteção.....	23
O circuito supressor de ruído.....	24
LEDs de indicação.....	25
O terminal de interligação.....	26
Diagrama completo com sugestão de PCB.....	28
Circuito de potência.....	29
Circuito de interligação.....	30
PCB uma face tamanho real.....	31
Top Silk tamanho real.....	32
Imagem do projeto da PCB no Proteus.....	33
Lista de material BILL.....	34
Conclusão.....	35
Créditos.....	36

Prefácio.

Este tutorial irá mostrar o projeto de uma ponte H usando transistores de junção do tipo par complementar com sinais de habilitação e direção para aplicações em robótica.

Os sinais da ponte H tem por objetivo de ligar, desligar e inverter a polaridade de alimentação de um motor CC, ao inverter a polaridade de um motor CC, este inverte o sentido de rotação.

Para entender este tutorial você deve ter conhecimento da eletricidade básica, saber o que é fonte de tensão, corrente, tensão, resistência e o funcionamento básico da ponte H.

Introdução.

O circuito da ponte H possui quatro dispositivos comutadores, dois ligados ao circuito de alta tensão +12V e dois ligados ao circuito de baixa tensão terra (ground).

Quando você usa transistores de junção do mesmo tipo o motor é ligado ao coletor do transistor de baixa tensão e ao circuito de emissor do transistor de alta tensão, isto dificulta a polarização da base do circuito de alta, pois a corrente base emissor irá circular pelo motor e pelo transistor de baixa tensão.

Se você usar transistores do tipo par complementar o circuito de base fica mais simples, pois os dois lados do motor estarão ligados aos coletores dos transistores!

Nos circuitos de ponte H comuns são usados dois sinais de controles, um para ligar o motor em um sentido (horário CW) e outro no sentido anti-horário (CCW). Para desligar o motor o comando deverá desligar os dois sinais. Neste tipo de circuito o controle pode mandar o motor girar nos dois sentidos ao mesmo tempo e isto acarretaria um curto circuito na ponte H. Neste projeto também serão usados dois sinais, um de habilitação (EN do inglês enable) que ao ser acionado habilita os dois lados da ponte H e liga o motor em um sentido, e um sinal de direção (DIR) que inverte o sentido de direção se a habilitação estiver ligada. Usando estes tipos de sinais o circuito da ponte H deverá ser o responsável em impedir o curto no circuito simplificando o controle!

Este projeto não possui controle de velocidade na placa!

Outro detalhe importante no projeto da ponte H é quanto ao circuito de partida, quando um motor de CC é acionado a corrente de partida é praticamente um curto circuito, somente a resistência da fiação do rotor irá limitar esta corrente. Em motores como os usados em acionamentos de robôs, esta corrente pode assumir valores da ordem de 10A ou ainda maiores, por isto, o circuito da ponte H deverá ser projetada para limitar a corrente de partida, isto é feito neste projeto.

O circuito de base do acionamento dos transistores de potência também merece atenção. A corrente de base para acionar transistores de potência fica da ordem de 100mA a 500mA, então o circuito de base deve ser bem projetado, não basta usar transistores do tipo BC547. Neste projeto foram usados transistores do tipo BC337 que trabalham com correntes até 500mA!

As pontes H para robótica são alimentadas com tensões de 12V ou 24V, o circuito de comutação normalmente é composto por um microprocessador que é alimentado com uma tensão de 5V, assim o circuito de entrada dos sinais de controle foi projetado com opto-acopladores para isolar os dois circuitos.

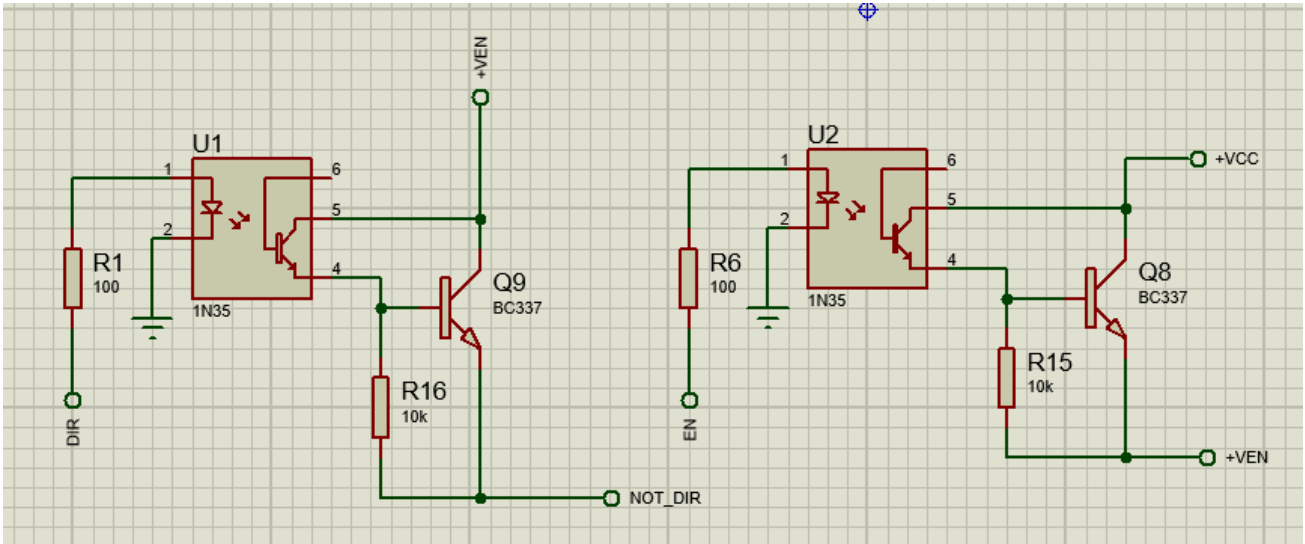
O projeto vai ser apresentado com transistores para correntes até 10A, mas você poderá usar outros tipos de transistores para correntes menores em função do seu projeto, diminuindo o custo.

Funcionamento.

Veja agora como funciona a ponte H deste projeto etapa por etapa.

Circuito de entrada dos sinais de controle.

Os sinais de entrada são responsáveis por ligar, desligar e inverter a rotação do motor, estes circuitos são opto-acoplados.



Os Cis U1 e U2 são os opto-acopladores do tipo 1n35 bastante comuns no mercado.

6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

4N25*

4N25A*

4N26*
[CTR = 20% Min]

4N27

4N28
[CTR = 10% Min]

*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC

STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC

PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

Neste tipo de dispositivo a isolação é garantida pois o sinal é acoplado via luz, não existe contato físico.

O circuito de entrada é composto por um LED, você deverá polarizar como um LED comum, no caso do microcontrolador a saída deverá ser ligada ao LED de entrada via resistor de 100 Ohm!

A saída é um transistor que vai operar como chave, quando o LED for acionado, o circuito entre o coletor e o emissor será fechado.

A conexão da base normalmente é deixada em aberto ou ligada através de um capacitor de 10nF ao emissor. Você poderá ligar um resistor de 100K no lugar do capacitor caso o circuito fique muito sensível e comece a ligar sozinho o motor!

Existem dois circuitos com opto-acopladores, um para o sinal de habilitação (EN) e outro para a inverter a direção (DIR)!

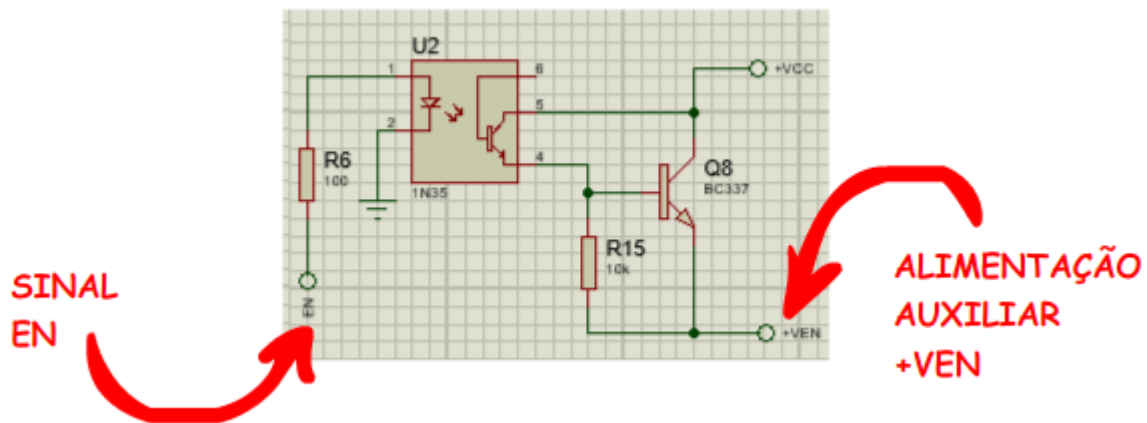
O transistor de saída do opto-acoplador é para baixas correntes, assim neste projeto foi usado um segundo transistor para operar como chave formando uma configuração Darlington o que permite ligar correntes maiores.

O circuito da alimentação auxiliar (+VEM).

O CI U2 liga o circuito de controle de habilitação (EN) ao transistor Q8 que liga o circuito de alimentação da bateria VCC ao circuito auxiliar de alimentação chamado de +VEN.

Quando o sinal de controle EN é enviado o motor este começa a rodar no sentido horário.

A alimentação auxiliar +VEN é usada para alimentar todos os dois circuitos de polarização das bases dos circuitos de potência, assim quando o sinal de habilitação (EN) é desligado o motor é desligado.

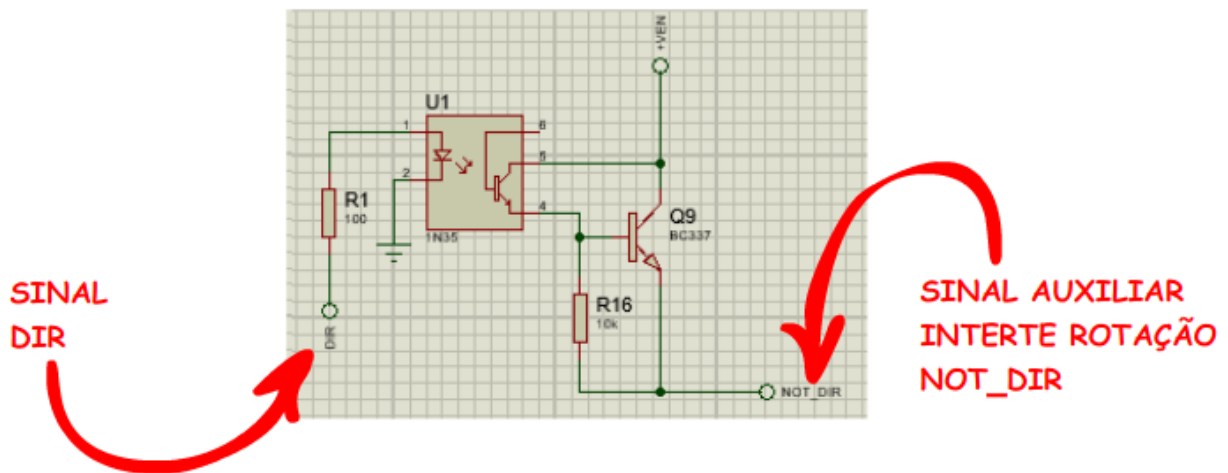


O circuito de inversão de rotação (NOT_DIR).

O CI U1 liga o circuito de controle de Inversão da Rotação (DIR) ao transistor Q9 que liga o circuito de controle auxiliar NOT_DIR.

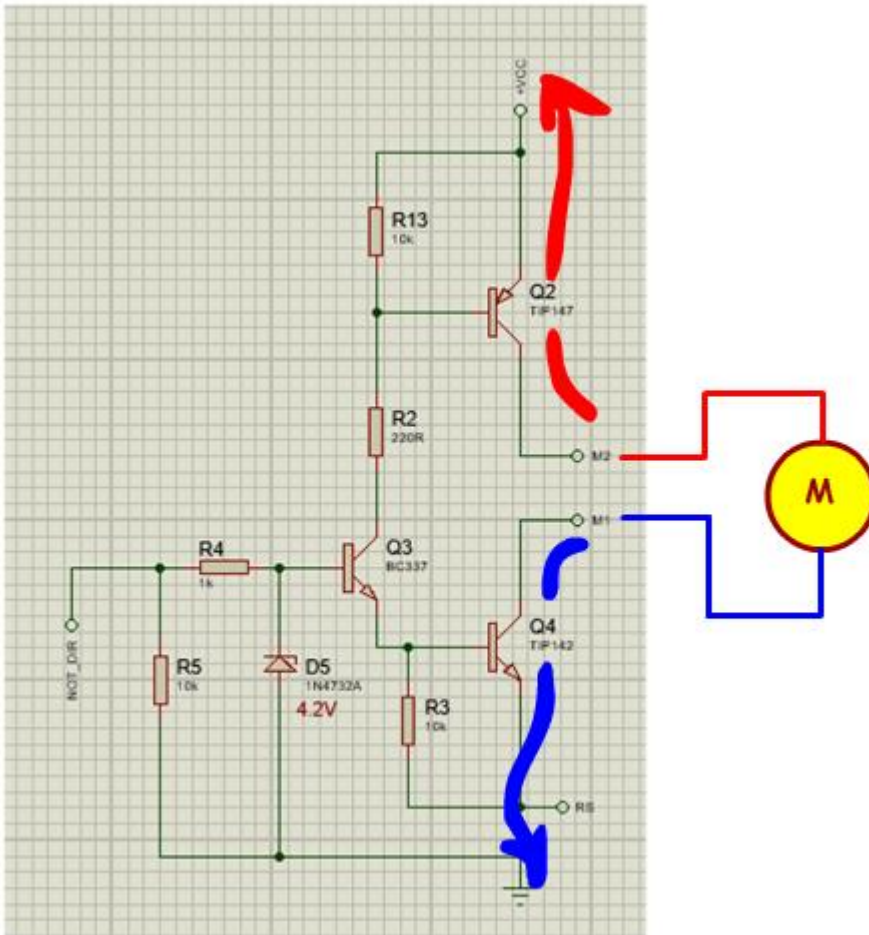
Note que o sinal que liga a inversão da rotação só é ligado se a tensão auxiliar +VEN estiver ligada, a tensão +VEN é ligada pelo o sinal de habilitação!

Quando o sinal de habilitação (EM) e o sinal de direção (DIR) são enviados o motor começa a rodar no sentido anti-horário.



O circuito de potência anti-horário.

O circuito de potência do sentido de rotação anti-horário é mostrado a seguir. O circuito de potência no sentido horário é similar.

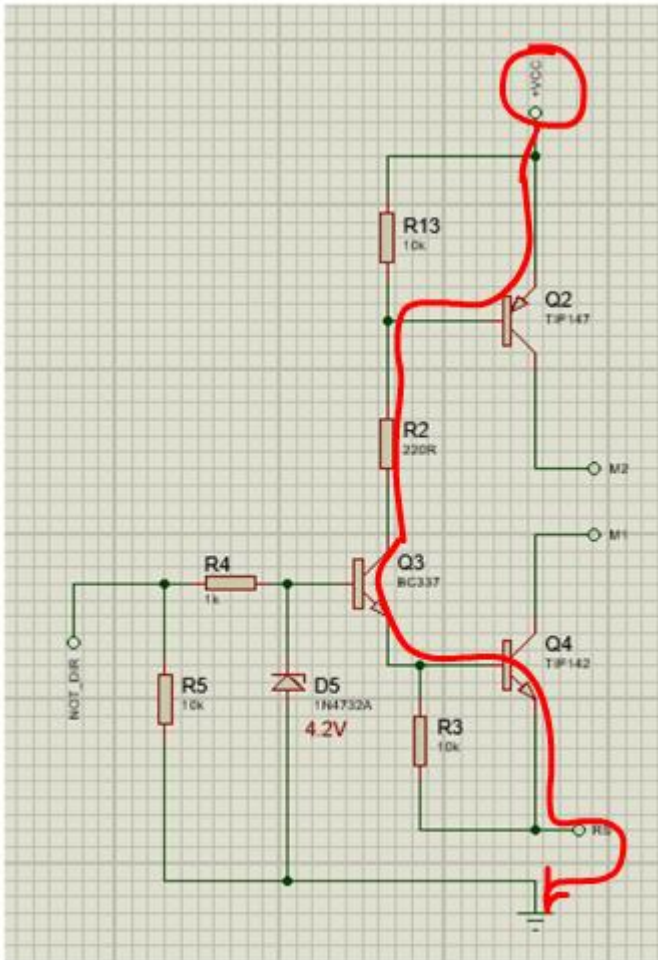


O transistor Q2 fecha o circuito do motor para a tensão positiva +VCC.

O transistor Q4 fecha o circuito do motor para a conexão de terra.

O circuito de corrente de base do transistor Q2 passa por R2, pelo transistor Q3, entre a base e o emissor do transistor Q4 e finalmente pela resistência de limitação de corrente R5 chegando a conexão de terra.

Note que para ligar o transistor Q2 o transistor Q4 deve estar ligado isto impede que Q2 ligue quando o outro lado da ponte for acionada.



A função de Q3 é ligar o circuito de base do transistor Q2 fechando o caminho da corrente através de R2. Como a corrente de base é da ordem de 100mA este é um transistor do tipo BC337.

Philips Semiconductors

Product specification

NPN general purpose transistor

BC337

FEATURES

- High current (max. 500 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

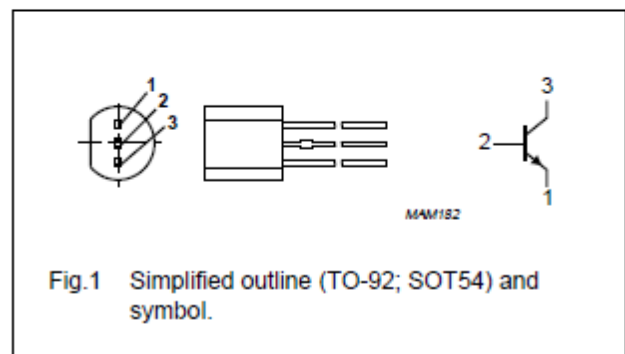
- General purpose switching and amplification, e.g. driver and output stages of audio amplifiers.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package. PNP complement: BC327.

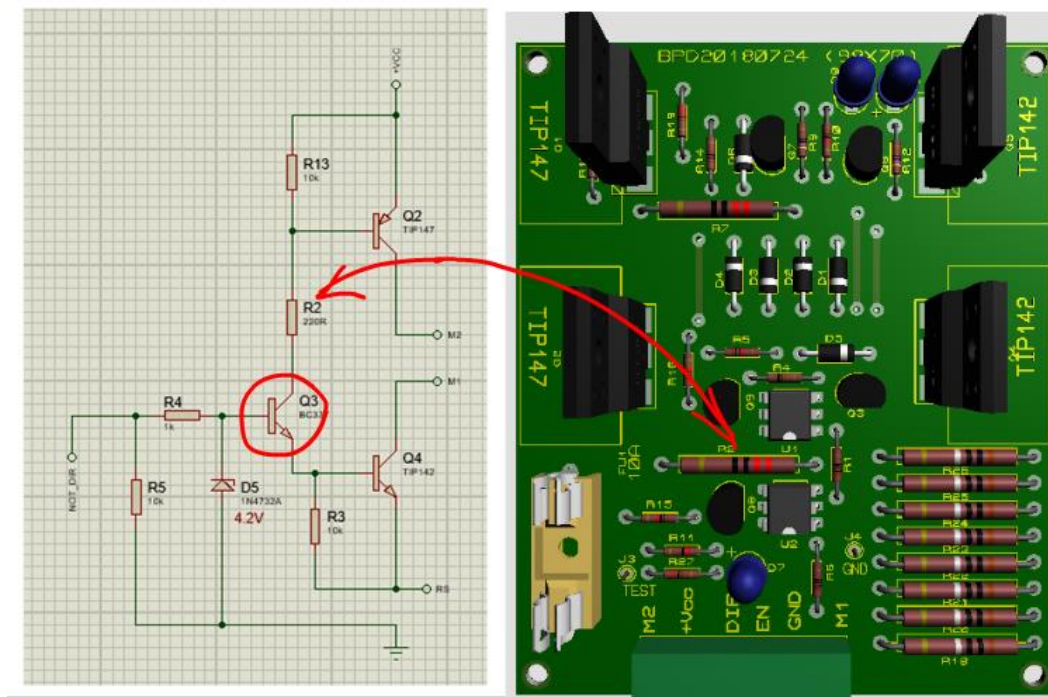
PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector



A corrente de base de Q2 e comutada por Q3 que também alimenta a base de Q4, assim um único resistor alimenta as duas bases.

Como a corrente é elevada neste resistor, ele é um resistor de potência 3W!



Os transistores de potência são do tipo par complementar, um é NPN e outro PNP, neste caso foram usados os transistores TIP142 e TIP147, mas você pode usar qualquer um dos transistores indicados a seguir pois o que muda é a tensão de trabalho que nas aplicações de robótica não serão maiores do que 24V!

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by TIP140/D

Darlington Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose amplifier and low frequency switching applications.

- High DC Current Gain — Min $h_{FE} = 1000$ @ $I_C = 5$ A, $V_{CE} = 4$ V
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — @ 30 mA
 $V_{CEO(sus)} = 60$ Vdc (Min) — TIP140, TIP145
 80 Vdc (Min) — TIP141, TIP146
 100 Vdc (Min) — TIP142, TIP147
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistor

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP140 TIP145	TIP141 TIP146	TIP142 TIP147	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak (1)	I_C	10 15			Adc
Base Current — Continuous	I_B	0.5			Adc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	125			Watts
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.0	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Case to Ambient	$R_{\theta JA}$	35.7	$^\circ\text{C/W}$

(1) 5 ms, $\leq 10\%$ Duty Cycle.

NPN
TIP140

TIP141*

TIP142*
PNP


TIP145

TIP146*

TIP147*

*Motorola Preferred Device

**10 AMPERE
DARLINGTON
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60-100 VOLTS
125 WATTS**

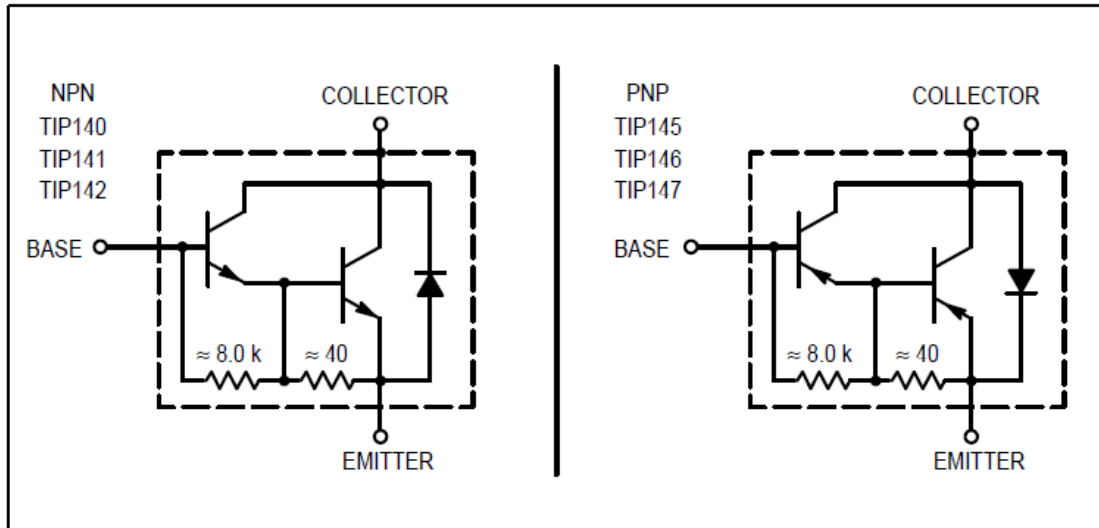


CASE 340D-01

Os transistores TIP142 e TIP147 são do tipo Darlington, já possuem internamente o transistor de reforço de corrente de base e o transistor de potência.

Um transistor na configuração Darlington é muito prático pois o ganho de corrente é elevado, da ordem de 1000, mas a junção coletor emissor nunca satura totalmente ficando uma queda de tensão ao redor de 1V quando o transistor é acionado, por isto a tensão máxima no motor ligado a uma bateria de 24V é de 22V!

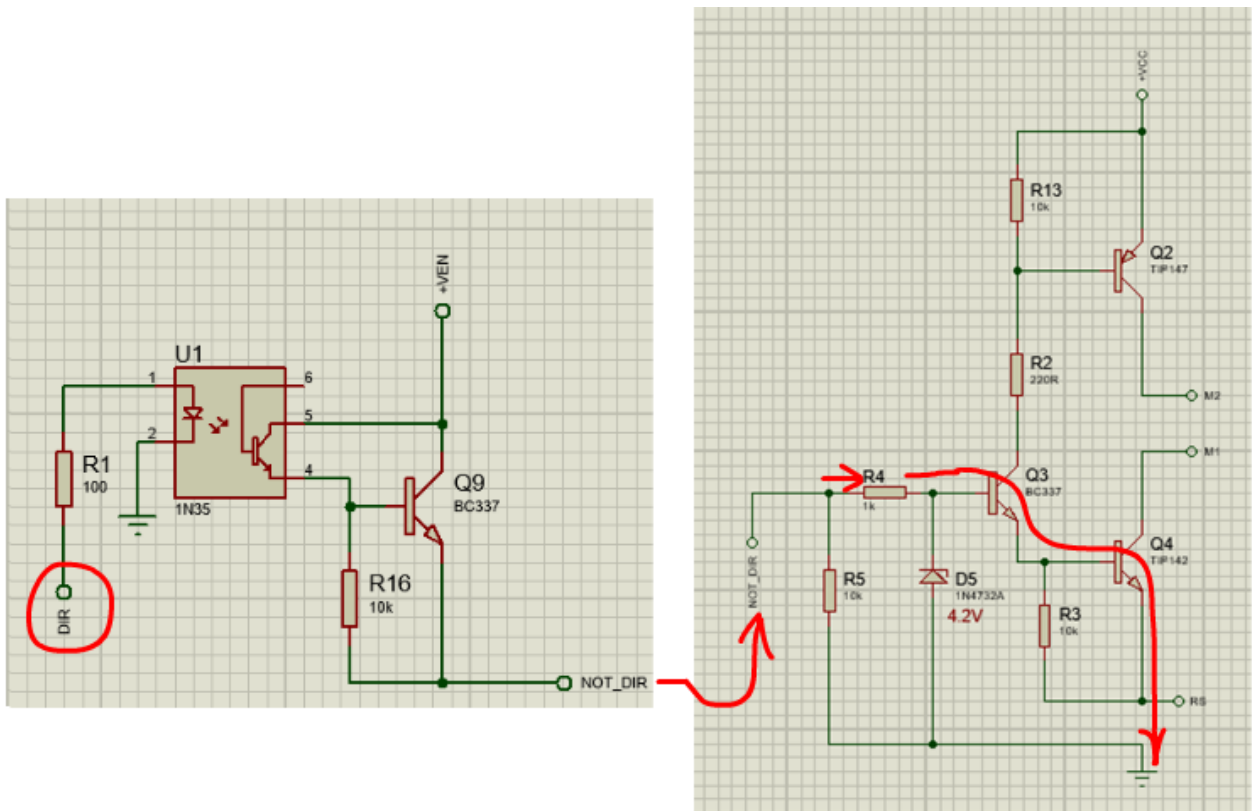
DARLINGTON SCHEMATICS



Como ligar o transistor Q3 de acionamento do sentido anti-horário.

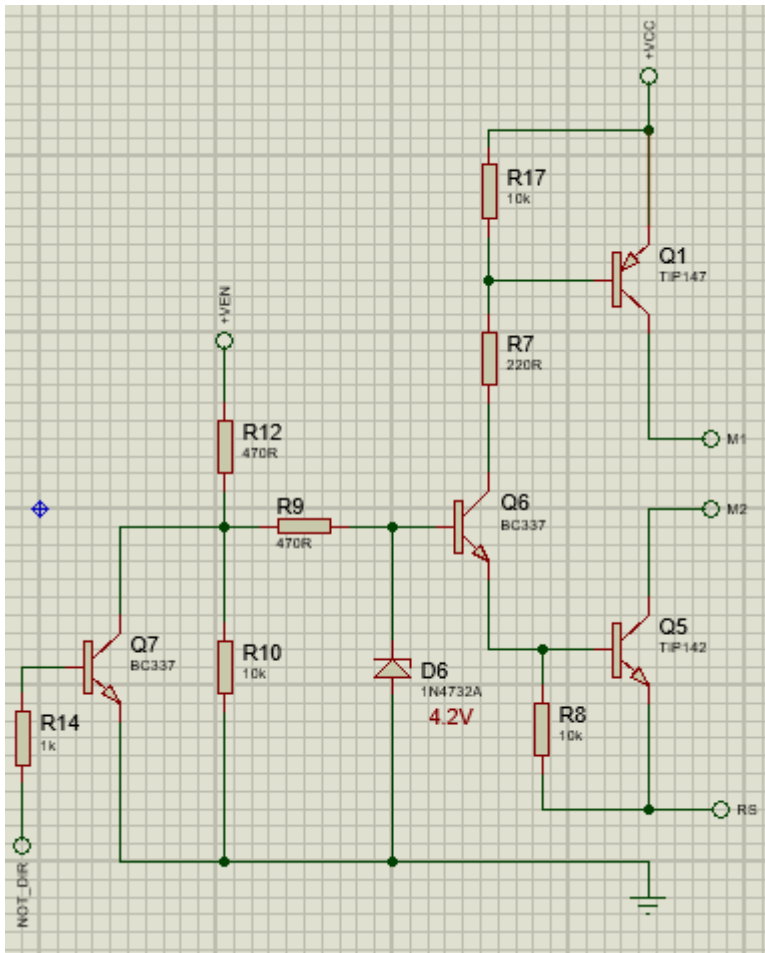
Para ligar os dois transistores de potência do sentido anti-horário primeiro você deve alimentar a base de Q3.

O positivo da alimentação da base de Q3 no circuito anti-horário vem do circuito de inversão da rotação via sinal NOT_DIR.



O circuito de potência horário.

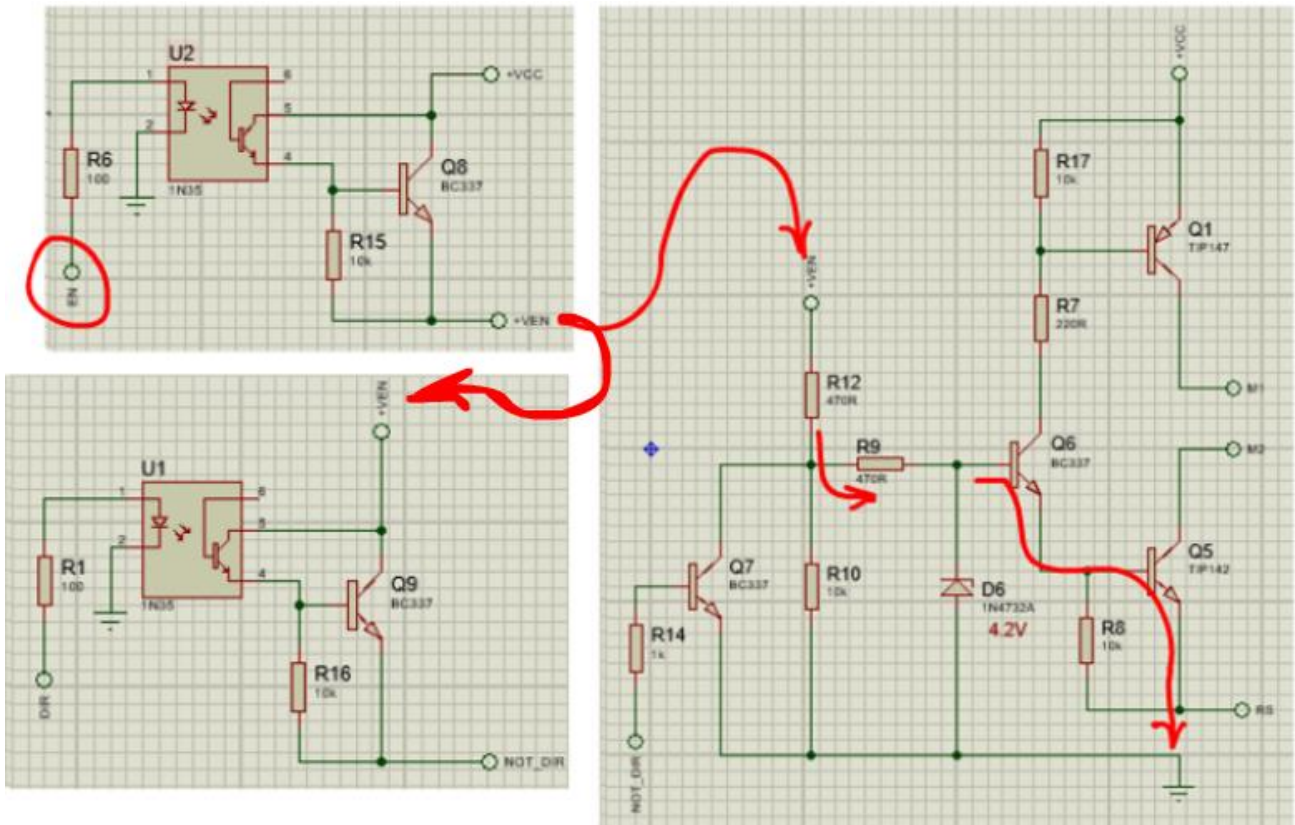
O circuito de potência horário é similar ao circuito anti-horário, usa os mesmos tipos de transistores de potência, mesmo circuito de acionamento de base dos transistores de potência, somente o circuito de acionamento é diferente e a conexão do motor é invertida.



Como ligar o transistor Q6 de acionamento do sentido horário.

No circuito horário a corrente de base é ligada quando o sinal de habilitação EN é ligado. A corrente de base vem da alimentação auxiliar +VEN, via R12 e R9.

Então quando o sinal de habilitação é ligado o circuito de potência liga o motor no sentido horário e habilita o circuito de inversão de velocidade.

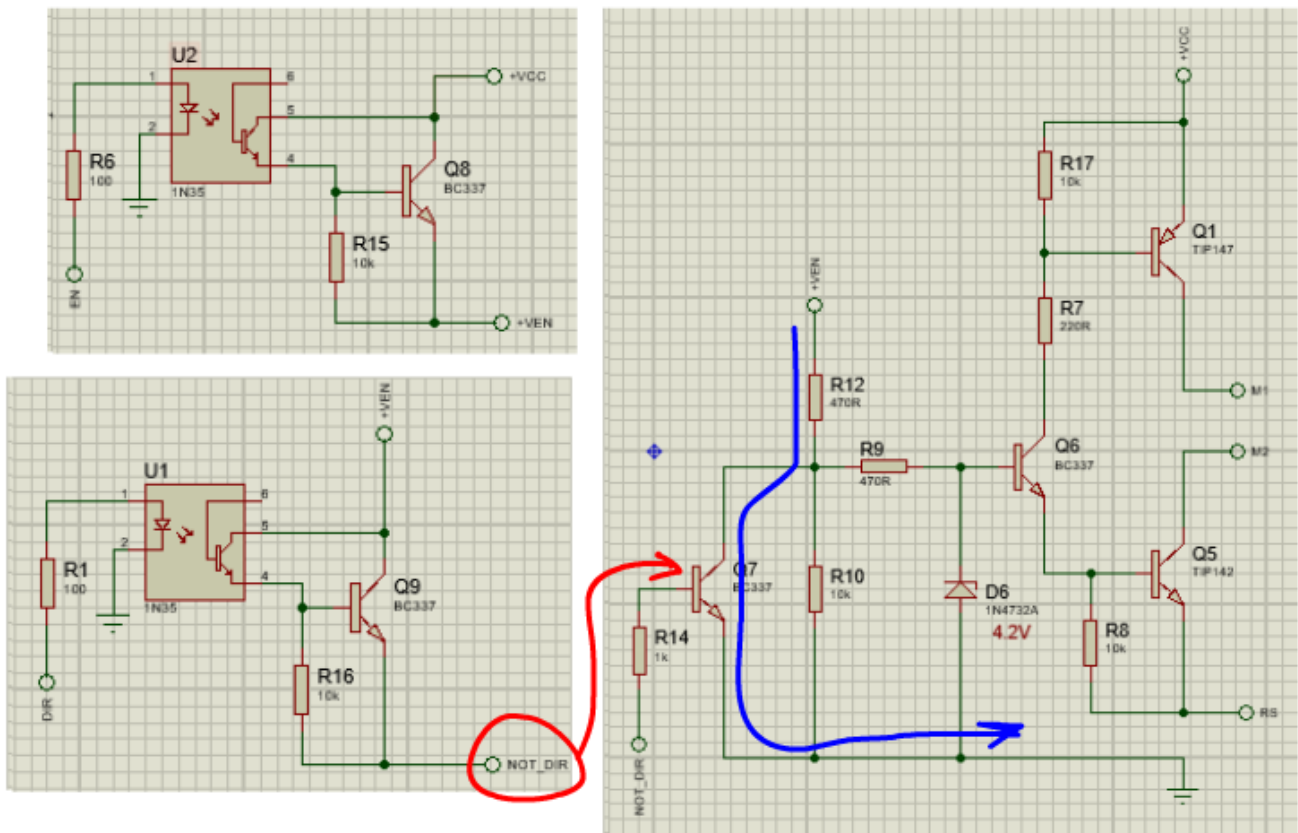


Circuito que desliga o sentido horário quando a rotação é invertida.

Quando o sinal de controle de inversão de direção (DIR) for acionado o sinal NOT_DIR é ligado e enviado para dois pontos do circuito.

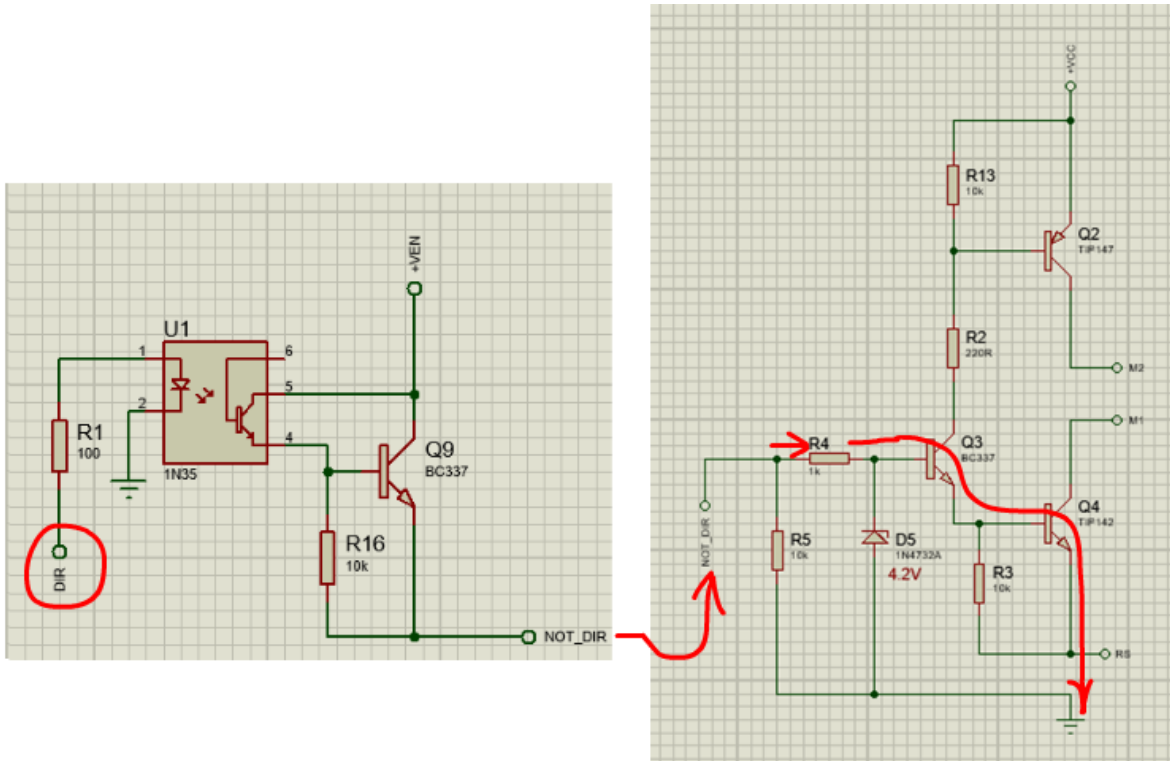
Primeiro o sinal NOT_DIR vai ligar o transistor Q7 que desvia a corrente de base de Q6 desligando o sentido horário.

O transistor Q7 funciona como inversor, invertendo o sinal anti-horário desligando o movimento horário.



Segundo o sinal NOT_DIR vai para a base de Q3 que liga o sentido anti-horário.

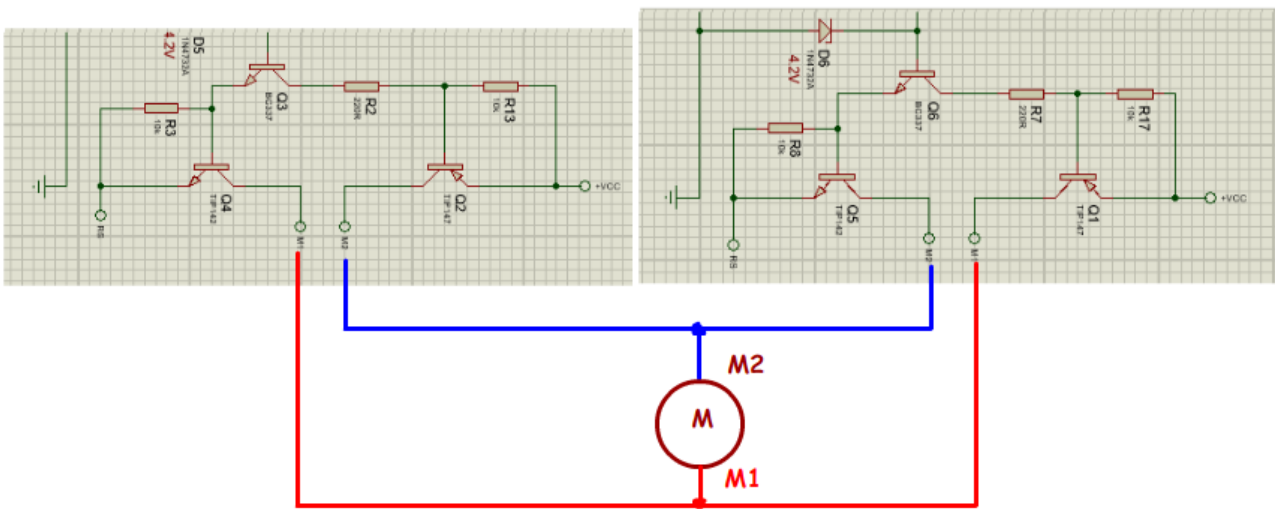
Desta forma o sinal NOT_DIR liga o sentido anti-horário e desliga o sentido horário garantindo que os dois circuitos não sejam acionados ao mesmo tempo.



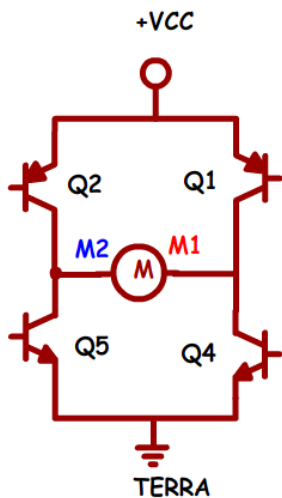
A conexão do motor.

A conexão do motor é em série com o coletor dos transistores de potência, a interligação é mostrada na figura a seguir.

Observe que a conexão de M2 é feita no coletor do transistor Q2 ligado ao +VCC e ao coletor do transistor Q5 ligado a conexão de terra.



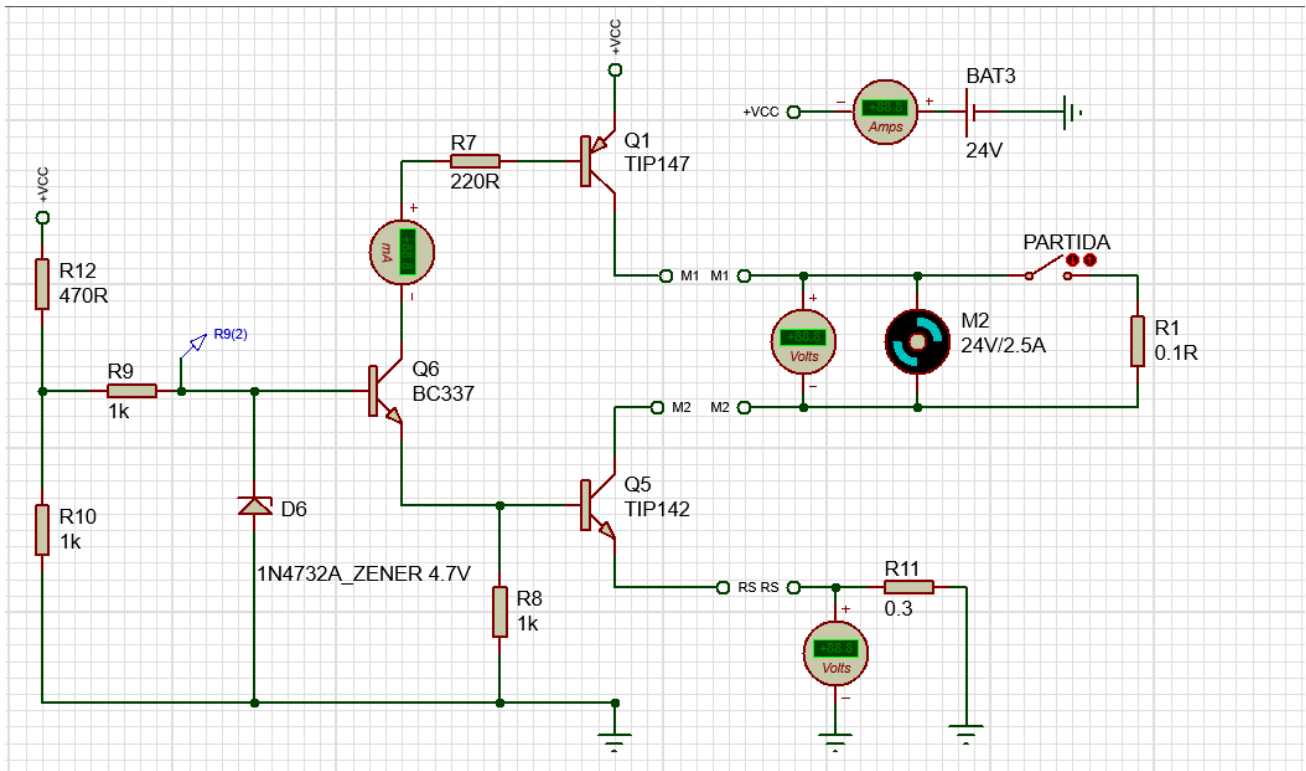
Configurando a ponte H.



O circuito de controle de corrente.

O circuito de controle de corrente é mostrado de forma reduzida na figura a seguir.

Este circuito foi montado no PROTEUS para simular a partida do motor, por isto foram incluídos a chave "PARTIDA" e a resistência R1.



Neste circuito a corrente máxima de coletor é fixada pela tensão sobre o resistor RS, sensor de corrente e o valor deste resistor.

Usando a Lei das Malhas a tensão sobre RS é a tensão na base de Q6, menos a tensão base emissor de Q5.

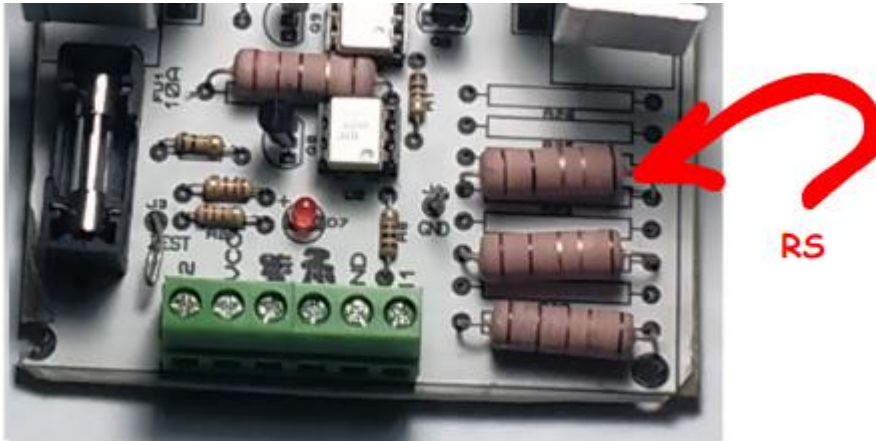
Se a corrente na carga é baixa a tensão na base de Q6 é menor do que a tensão Zener do diodo D6, se a carga aumentar a corrente de carga aumenta e a tensão de base aumenta até o valor máximo da tensão Zener. Quando o diodo Zener começa a conduzir a corrente na carga fica estabilizada, mesmo que a carga ligada no coletor seja um curto circuito!

Na partida a carga do motor é quase um curto circuito, em regime normal a corrente fica mais baixa e depende do tipo de motor, por exemplo em um motor de vidro de carro esta corrente fica ao redor de 2.5A, em um motor de para-brisa fica ao redor de 4A!

Com o circuito de controle de corrente, a corrente nos transistores de potência nunca irá superar o limite especificado pelo fabricante.

Para correntes nominais acima de 4A é conveniente colocar um dissipador de calor nos transistores de potência, notar ainda que máxima corrente vai acontecer na partida por um período bem curto.

A resistência RS é chamada de resistência sensor de corrente, a sua potência deverá ser da ordem de 30W, assim no projeto foram usadas 3 resistências de 10W e 1 Ohm colocadas em paralelo! A resistência RS só vai trabalhar na máxima potência durante a partida do motor, por isto o seu aquecimento será pequeno. A figura a seguir mostra as resistências montadas na placa.

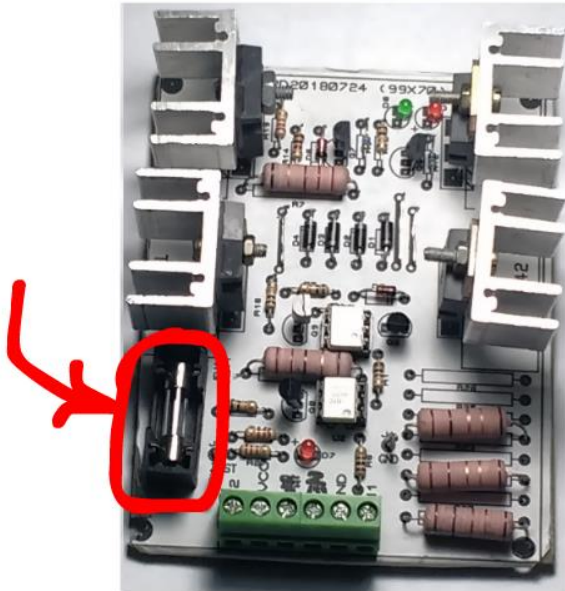


Outro detalhe importante que deve ser levado em conta é quando o robô for bloqueado, se você não desligar o motor todo o circuito irá trabalhar na condição máxima, assim quando o robô for bloqueado você deve desligar o motor e inverter o movimento o mais rápido possível.

Note que existem dois circuitos de potência, mas um resistor RS, isto acontece porque somente um circuito é ligado de cada vez.

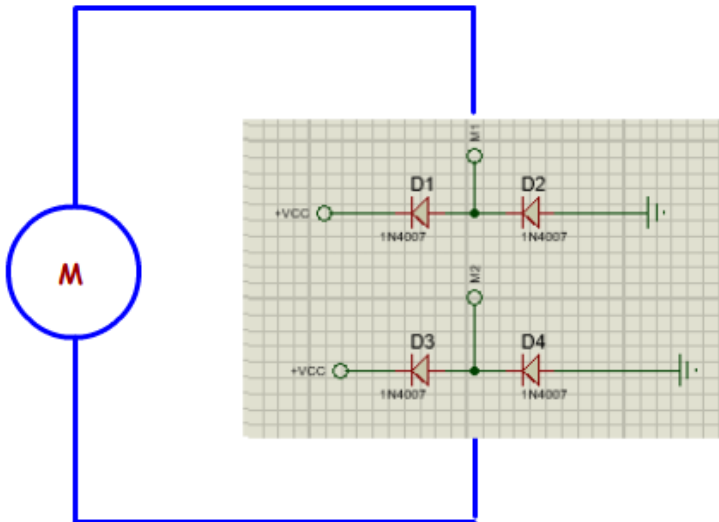
O circuito de proteção.

O circuito de alimentação possui conectores para a interligação com a bateria, motores e sinais de controle. O circuito da bateria possui um fusível de segurança de 10A montado na própria placa. O porta-fusível é do tipo para montagem em circuito impresso



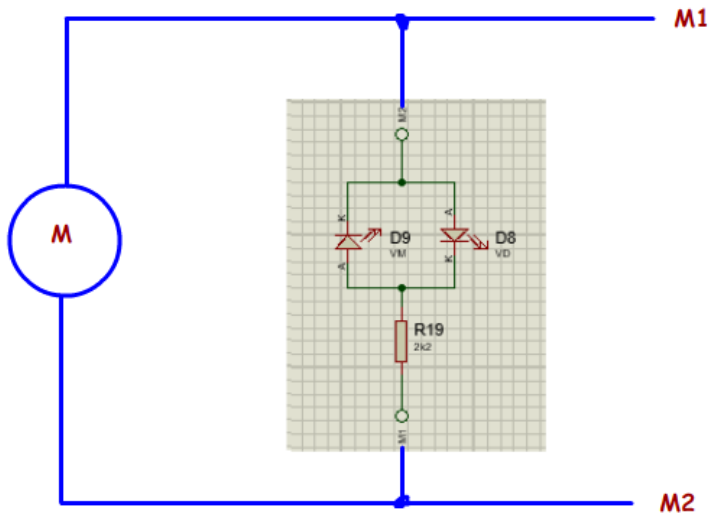
O circuito supressor de ruído.

Em paralelo com os motores foram montados quatro diodos supressores de ruído, não menospreze estes diodos!

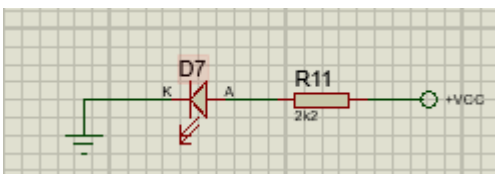


LEDs de indicação.

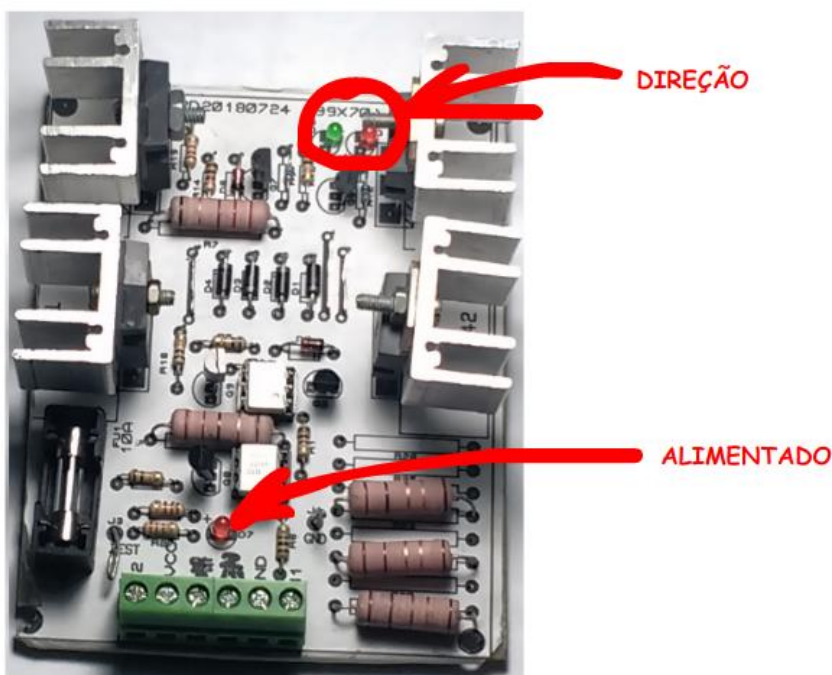
O circuito do motor ainda possui um par de LEDs ligados em antiparalelo para indicar a direção do movimento.



O circuito de potência possui um LED conectado depois do fusível para indicar que a alimentação está ligada.

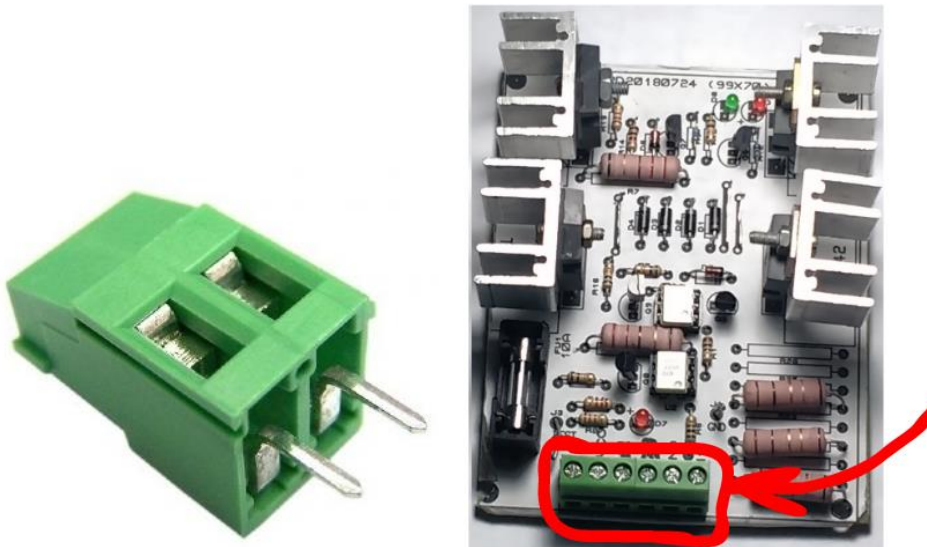


Veja os LEDs na placa.



O terminal de interligação.

A conexão com o mundo externo é feita via conector do tipo conhecido como E-BORNE, o código Metaltex é borne KRE. Você pode comprar mais de um conjunto com dois terminais e depois expandi-los, eles possuem entalhes de encaixe. No projeto foram usados 3 conjuntos de dois terminais encaixados.



A Placa protótipo.

A figura abaixo mostra a placa protótipo com a ponte H deste projeto. Os transistores de potência foram montados com dissipadores pequenos. Cada resistência R_S é de 5W, e os CIs opto-acopladores foram montados em soquetes facilitando a sua substituição. As resistências R_7 e R_2 do acionamento da potência podem ser de 3W a 5W!

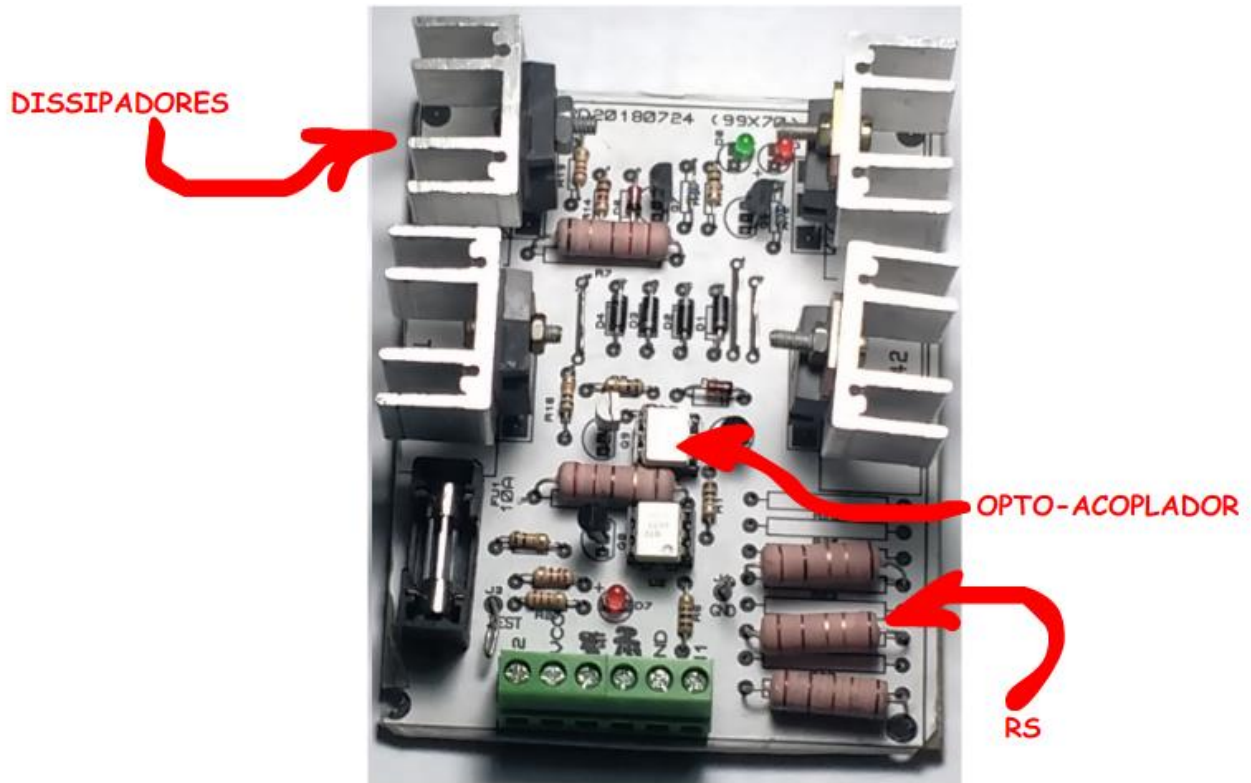
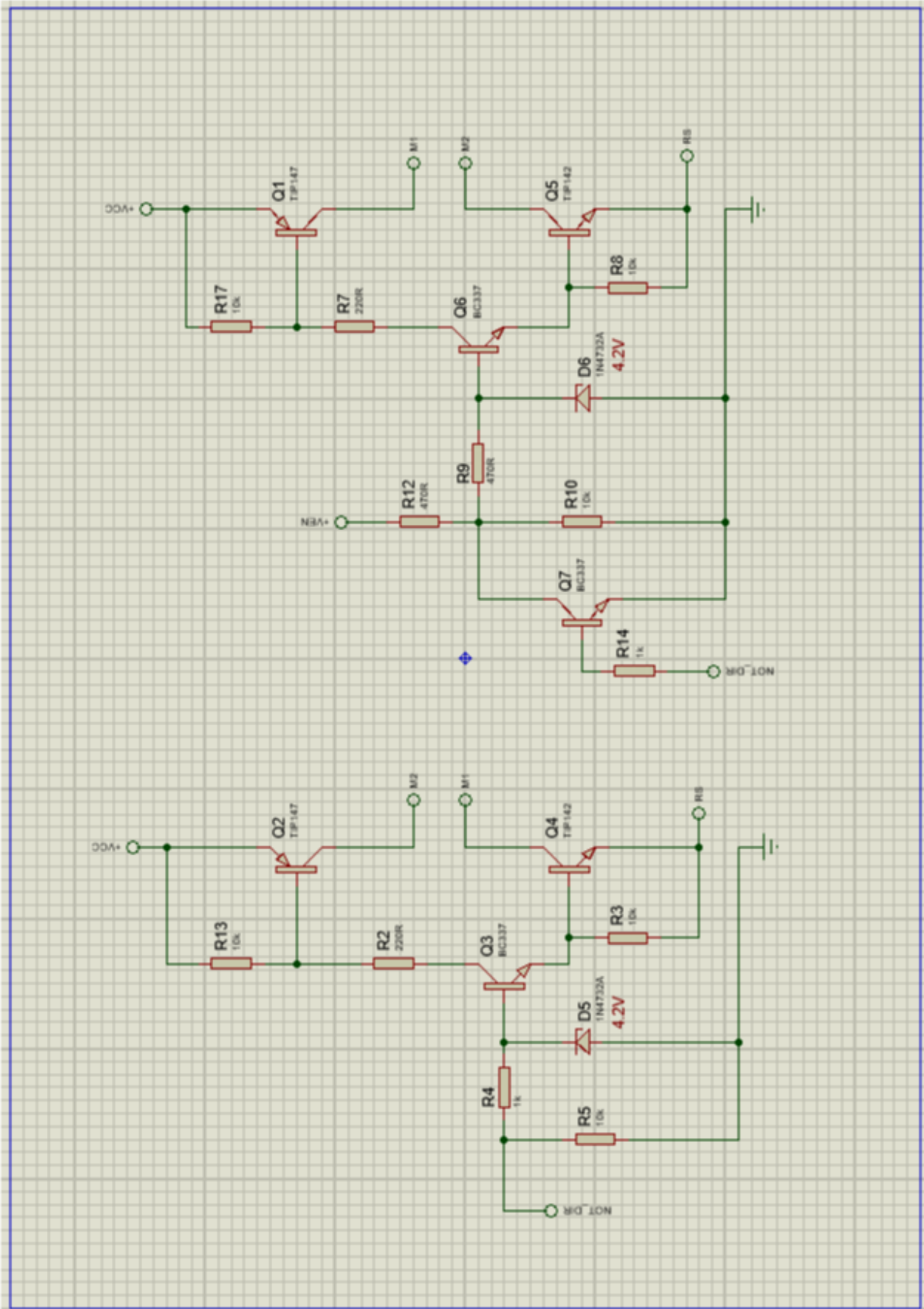


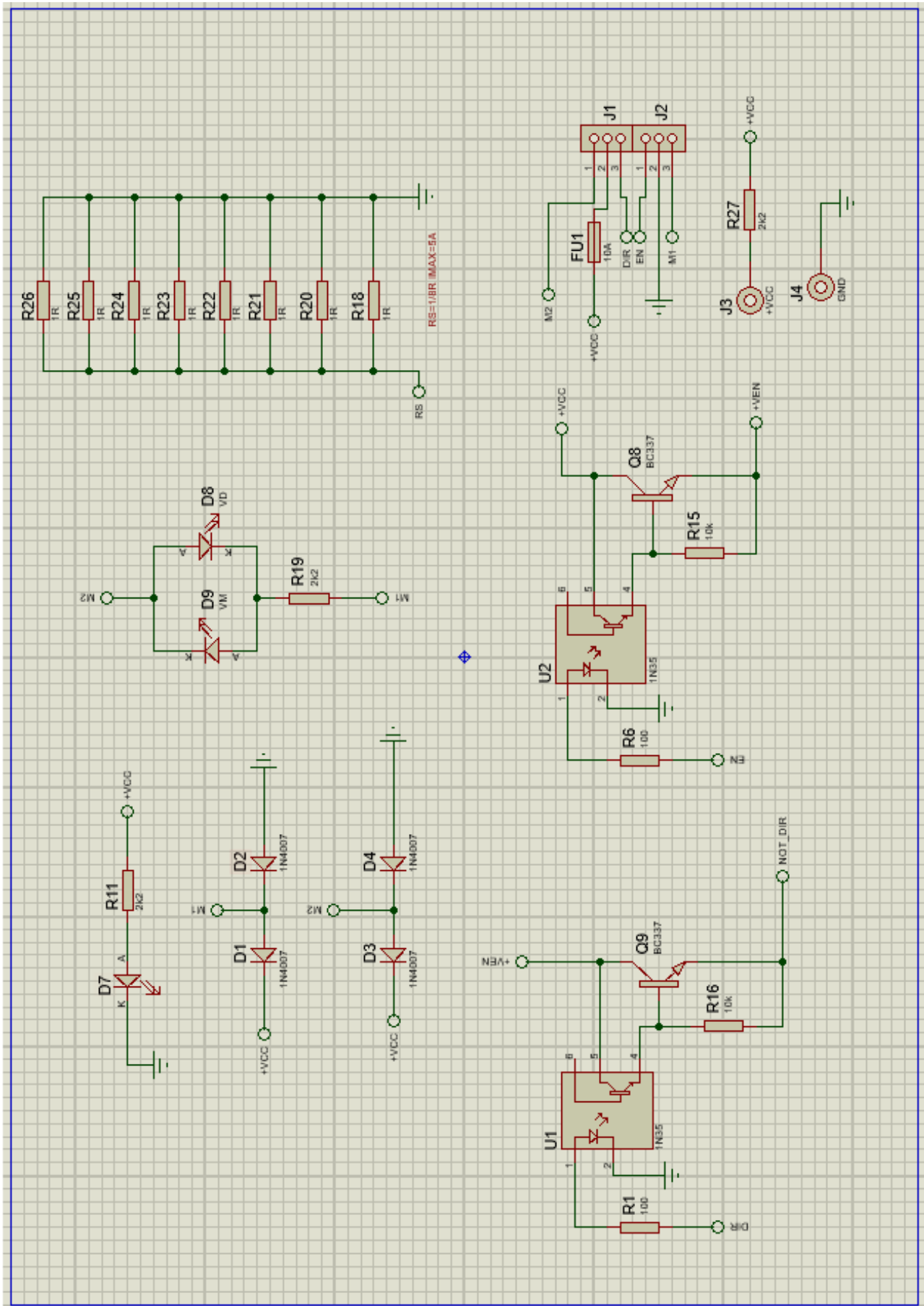
Diagrama completo com sugestão de PCB.

As figuras a seguir mostram o diagrama que pode ser baixado do site www.bairrospd.com.

Circuito de potência.

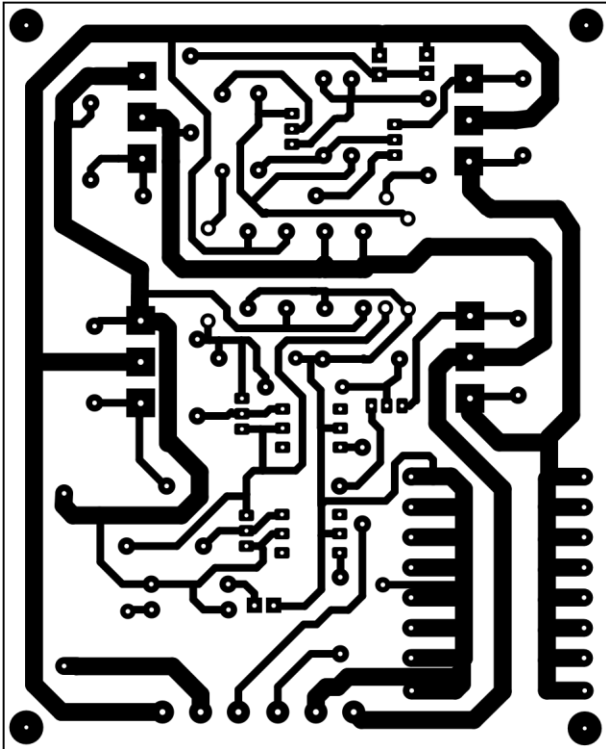


Circuito de interligações.



PCB uma face, tamanho real.

Observar que as trilhas de potência foram reforçadas.



Top Silk, tamanho real.

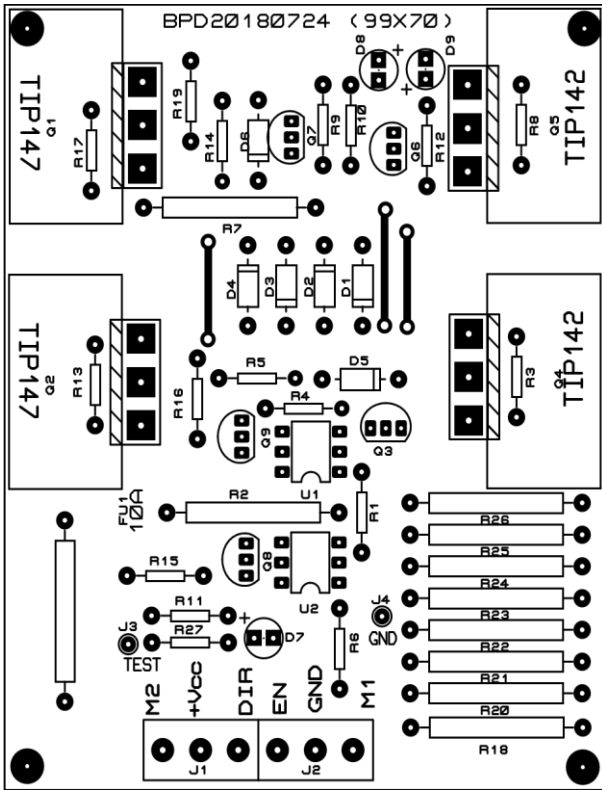
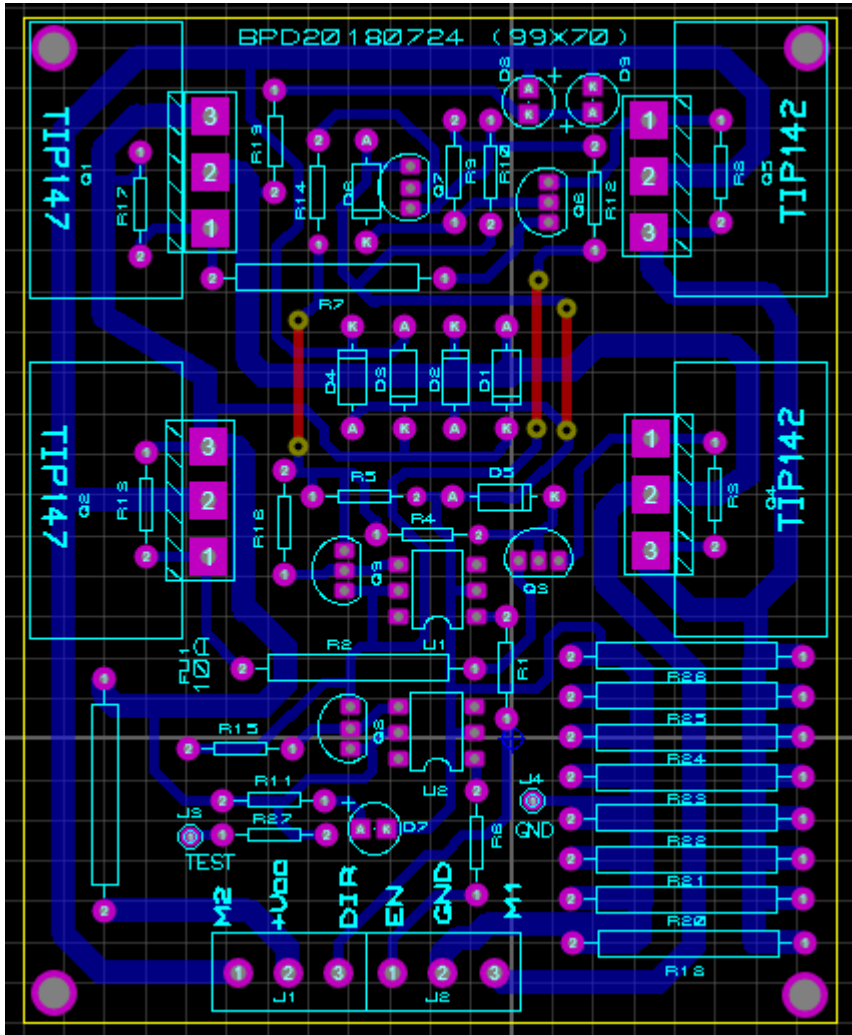


Imagem do projeto da PCB no Proteus.



Lista de material BILL.

Bill Of Materials for 20180724 PCB Ponte H 147 RS EN. pdsprj

Design Title 20180724 PCB Ponte H 147 RS EN. pdsprj
Author
Document Number
Revision
Design Created terça-feira, 24 de julho de 2018
Design Last Modified terça-feira, 21 de agosto de 2018
Total Parts In Design 52

0 Modules				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
Sub-totals:				£0,00

0 Capacitors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
Sub-totals:				£0,00

27 Resistors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	R1,R6	100	M100K	
2	R2,R7	220R	D220R	
8	R3,R5,R8,R10,R13,R15-R17	10k	M10K	
2	R4,R14	1k	M1k	
2	R9,R12	470R	M470R	
3	R11,R19,R27	2k2	M2k2	
8	R18,R20-R26	1R	D220R	
Sub-totals:				£0,00

2 Integrated Circuits				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	U1-U2	1N35		
Sub-totals:				£0,00

9 Transistors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	Q1-Q2	TIP147		
5	Q3,Q6-Q9	BC337		
2	Q4-Q5	TIP142		
Sub-totals:				£0,00

9 Diodes				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
4	D1-D4	1N4007		
2	D5-D6	1N4732A_ZENER 4.7V		
1	D7	LED_01		
1	D8	LED VD		
1	D9	LED VM		
Sub-totals:				£0,00

5 Miscellaneous				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
1	FU1	10A		
2	J1-J2	E-BORNE-M3		
1	J3	+VCC		
1	J4	GND		
Sub-totals:				£0,00

Totals: £0,00
 quarta-feira, 22 de agosto de 2018 11:14:15

Conclusão.

Você viu neste tutorial o projeto de uma ponte H para uso em robótica salientando o controle de corrente opera para evitar curto circuito no circuito de potência.

Créditos.

Manuais: Manual do 4N35 Motorola. Manual PHILIPS, Manual TIP 140 41 42 TIP 145 46 47 Motorola

PDF: https://docs.wixstatic.com/ugd/83ad1e_361054fe8ae94abab00c71970bac5121.pdf

Sites: www.bairrospd.com

YOUTUB:

PONTE H COM PAR COMPLEMENTAR E SINAIS DE HABILITAÇÃO E DIREÇÃO

Veja o pdf no link abaixo.

https://docs.wixstatic.com/ugd/83ad1e_361054fe8ae94abab00c71970bac5121.pdf

SEO: www.bairrospd.com, Professor Bairros, eletrônica, tutorial, ponte H, robótica