

Etapa de potencia para placas de desarrollo

Matías Adriel Vironi
Estudiante de 5to año
UTN, FRC
mativironi@gmail.com

Resumen - Las placas de desarrollo son dispositivos que cuentan con un microprocesador o microcontrolador reprogramable el cual, puede ejecutar instrucciones para un fin específico. En el siguiente documento se propone realizar etapas de potencia para placas de desarrollo (Arduino y Raspberry Pi) con el objetivo de corroborar que transistor de potencia se adapta mejor para diferentes aplicaciones teniendo en cuenta el coste-beneficio.

Abstract - Development boards are devices that have a reprogrammable microprocessor or microcontroller which can execute instructions for a specific purpose. In the following document, it is proposed to make power stages for development boards (Arduino and Raspberry Pi) in order to corroborate which power transistor is best suited for different applications taking into account the cost-benefit.

I. INTRODUCCIÓN

A la hora de elaborar proyectos de electrónica, es común utilizar placas de desarrollo como prototipos de sistemas complejos, por su facilidad de uso y su rápida curva de aprendizaje. Estas placas presentan otras ventajas como su pequeño tamaño, bajo costo, gran poder de procesamiento, etc.

En este documento se analizará las salidas digitales de las mismas, que se utilizarán para controlar transistores de potencia en zonas de corte y saturación.

II. CONSIDERACIONES GENERALES

Existen numerosas placas de desarrollo, de diferentes fabricantes. En la actualidad se destacan Raspberry Pi y Arduino por su bajo costo y su amplia comunidad. Ambas placas presentan ventajas y desventajas, por lo que su uso dependerá del proyecto a realizar.

Arduino es básicamente un microcontrolador mientras que Raspberry Pi es un miniordenador. Esto significa que en en Arduino se pueden programar pequeñas aplicaciones para usos concretos. En cambio Raspberry Pi dispone de un sistema operativo completo. A continuación se presenta una tabla comparativa donde podemos apreciar algunas diferencias entre las placas que serán útiles para nuestro estudio.

TABLA I. Arduino UNO vs Raspberry Pi 3B+

Especificaciones	Arduino UNO	Raspberry Pi 3B+
Core	ATMega 328	4 x Cortex A-53
Reloj Principal	16 MHz	1.4 GHz
RAM	2 kB	1 Gb
Flash	32 kB	16 Gb, 32 Gb

I/O Intensidad Máxima	40 mA	5-10 mA
I/O Tensión	5 V	3.3 V
Consumo	42 mW a .3 W	2 W a 3 W

Estas son algunas de las diferencias entre las placas de desarrollo Arduino UNO y Raspberry Pi 3B+. Aunque existen más diferencias, no son tan relevantes para nuestro estudio.

Tanto las salidas digitales en Arduino como en Raspberry están limitadas tanto en tensión como en intensidad. La tensión máxima que pueden suministrar será 5V o 3,3V en función del modelo. Por su parte, la intensidad máxima admisible es de 5 a 40mA.

Normalmente esto es insuficiente para hacer funcionar la mayoría de cargas, por lo que es necesario emplear etapas de amplificación o controladores (drivers), que actúan como adaptadores entre el nivel de potencia empleado en el controlador y el requerido por el actuador. Para realizar esta adaptación se puede emplear transistores de potencia.

A diferencia de los tiristores, los transistores tienen una velocidad de conmutación mayor. Sin embargo, las especificaciones de tensión y corriente son menores. Por lo tanto los transistores se utilizan, por lo general, en aplicaciones de baja y media potencia.

III. TRANSISTORES DE POTENCIA

Existen dos grandes familias de transistores. Los transistores BJT (bipolar junction transistor), y los transistores FET (field effect transistor). El funcionamiento y utilización de los transistores de potencia es idéntico al de los transistores normales, teniendo como características especiales las altas tensiones e intensidades que tienen que soportar y las altas potencias a disipar.

En este documento, emplearemos:

- BJT.
- Unipolar o FET.
- IGBT.

TABLA II. Tabla Comparativa BJT-MOSFET-IGBT

Parámetros	BJT	MOSFET	IGBT
Disparo	I	V	V
Impedancia de entrada	Baja	Alta	Alta
Tensión	Alta	Baja	Alta
Corriente	Baja	Alta	Alta
Frecuencia de trabajo	Baja	Alta	Baja
Potencia	Media	Baja	Alta
Coste	Bajo	Medio	Alto

Como limitación de los dispositivos de potencia y concretamente de los transistores bipolares, es que el paso de bloqueo a conducción y viceversa no se hace instantáneamente, sino que siempre hay un retardo. Por lo que es necesario bajos tiempos de respuesta (ton, toff), para conseguir una alta frecuencia de funcionamiento.

De manera resumida, encontramos dos aplicaciones distintas, estas son:

- Como amplificador
- Como conmutador controlado

Para nuestro estudio, nos centraremos en la segunda aplicación, donde vamos a controlar el transistor en la región de corte y saturación para trabajar como un interruptor controlado eléctricamente. Gracias a esta función, un transistor puede controlar grandes cargas utilizando una placa de desarrollo como las mencionadas anteriormente.

IV. BJT

Este transistor puede dividirse en dos tipos, PNP y NPN. Emplearemos la configuración emisor común, ya que es la más simple para hacer conmutar el transistor. Su simbología electrónica es:

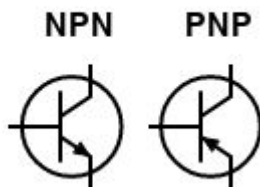


Fig. 1. Símbolo BJT

Si consideramos el siguiente circuito con BJT:

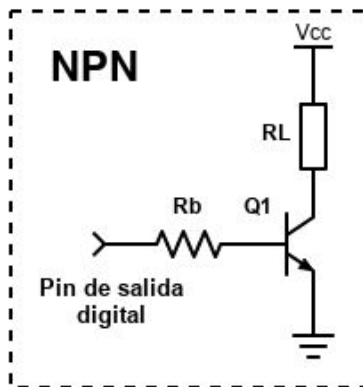


Fig. 2. Circuito simple con carga resistiva para BJT

Con este circuito podemos comprobar la forma más sencilla para conmutar, utilizando un transistor bipolar NPN.

A través del pin de salida de nuestra placa de desarrollo y R_b , se obtiene una corriente de base, la cual debe estar correctamente calculada para poder trabajar en zonas de corte y saturación. Cuando el pin de salida digital está en alto, el transistor se comporta como un circuito cerrado, permitiendo la circulación de la corriente por la carga. Cuando el pin de salida está en bajo, el transistor se comporta como un circuito abierto, impidiendo la circulación de corriente.

A. LIMITACIONES BJT

Debido a que este transistor es controlado por corriente, es posible trabajar con placas de desarrollo, sin embargo, no es posible utilizar todos los transistores bipolares que existen en el mercado, ya que nuestras placas poseen limitación de corriente y tensión. Debido a que Arduino posee salidas digitales de mayor corriente, podrá ser aplicable a una mayor variedad de transistores sin necesidad de aplicar una etapa preamplificadora, aunque para transistores bipolares de alta frecuencia de trabajo podría ser recomendable el uso de Raspberry Pi ya que supera ampliamente al Arduino.

B. MODELOS DE BJT

En la siguiente tabla podemos ver algunos modelos de BJT que pueden emplearse en placas de desarrollo. Como se puede apreciar, el transistor más caro es el que tiene el encapsulado más grande, ya que, tiene mejor disipación y transferencia de potencia que los encapsulados más chicos.

Para los transistores STSA1805 y BD139 la frecuencia de trabajo es muy alta, mientras que la disipación de potencia es baja, a raíz de esto se podría utilizar transistores en paralelo para dividir la potencia y la corriente que circula por el colector.

TABLA III. Tabla Comparativa BJT

BJT	Fr	VCE0	ICO	Costo	D de Pot	Package
2N3055	3 MHz	60 V	15 A	2 \$	115 W	TO-3
D1047	15 MHz	140 V	12 A	1,40 \$	100 W	TO-247
2SC1061	5 MHz	50 V	3 A	1,1 \$	25 W	TO-220
STSA1805	150 MHz	60 V	5 A	1 \$	1,1 W	TO-92
TIP41C	3 MHz	100 V	6 A	0,7 \$	65 W	TO-220
BD178	3 MHz	60 V	3 A	0,5 \$	30 W	TO-126
BD139	190 MHz	80 V	1,5 A	0,35 \$	8 W	TO-126

C. APLICACIONES PARA BJT

Existen muchas aplicaciones en el campo de la electrónica pero comúnmente son utilizados como interruptores electrónicos, conmutadores de baja potencia, control de motores paso a paso.

V. MOSFET

A diferencia del BJT, el transistor MOSFET nos permite manipular grandes cargas con poca disipación de energía. De esta forma podemos elegir que tipo de transistor usar dependiendo de nuestra aplicación. Estos transistores forman parte de la familia FET y lo emplearemos como interruptor controlado eléctricamente, en las zonas de corte y saturación. Otra diferencia importante es que el estado de un transistor FET se controla por la tensión aplicada en Gate, respecto a los BJT cuyo estado depende de la corriente que circula por la base.

Su simbología electrónica es la siguiente:

Canal-N Canal-P

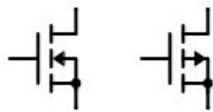


Fig. 3. Símbolo MOSFET

La velocidad de conmutación es muy alta siendo los tiempos de conmutación del orden de los nanosegundos. Además, son menos sensibles a la temperatura. Sin embargo, los MOSFET tienen problemas de descargas electrostáticas, por lo que su manejo requiere de cuidados especiales.

Para saturar este transistor se necesita superar un umbral en la tensión en Gate (V_{gs}) y proporcionar la carga necesaria para que sature.

A. MOSFET CON ARDUINO Y RASPBERRY PI

A la hora de utilizar estos transistores como etapa de potencia controlada por Arduino o Raspberry Pi aparecen algunos inconvenientes. Como se mencionó anteriormente estos componentes son controlados por tensión en Gate, esto implica que nuestras placas de desarrollo tienen que entregarnos el voltaje necesario para saturar la puerta. De acuerdo con la TABLA I, las salidas digitales proporcionan una tensión de 3,3V y 5V. Esto en la mayoría de los casos es insuficiente para que el transistor entre en saturación, es incluso peor en Raspberry Pi cuya tensión de salida es de 3,3V.

A raíz de estas limitaciones las transiciones son más lentas y el tiempo que el transistor pasa en la zona lineal es mayor, lo que supone una mayor disipación de energía y calentamiento.

B. ALTERNATIVA 5V

Existen algunos modelos de MOSFET para utilizar directamente con Arduino, entre ellos se encuentran IRF520, IRF530 e IRF540 [1].

Si bien estos modelos están adaptados para funcionar con los 5V que nos ofrece Arduino, no funcionan de la manera más óptima posible, ya que son MOSFET de potencia de uso genérico y no están optimizados para tensiones de control de niveles lógicos.

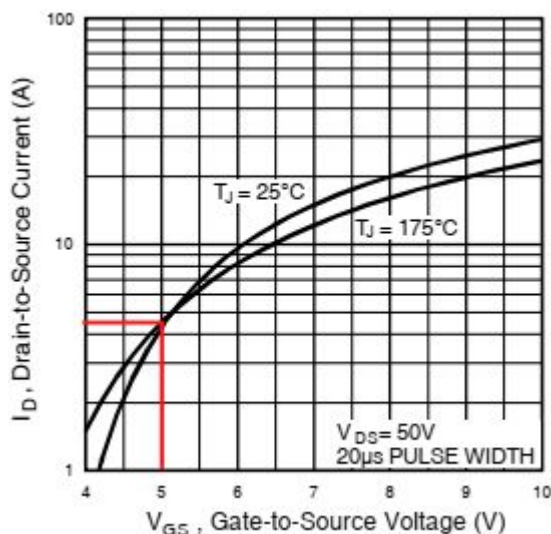


Fig. 4. Características de transferencia típicas IRF520

Para resolver estos problemas, existen MOSFET lógicos, que están diseñados para conmutar a 5V lógicos, aunque a un precio mayor que los anteriores. Se destacan los modelos IRL520, IRL530 y IRL540. Un circuito simple con estos transistores puede ser el siguiente [3].

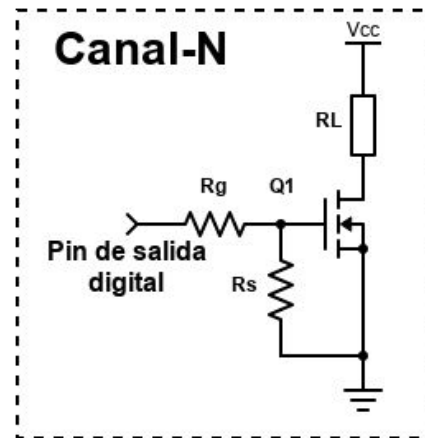


Fig. 5. Circuito simple con carga resistiva para MOSFET

C. ALTERNATIVA 3,3V

Anteriormente se planteó una posible solución para trabajar con salidas digitales de 5V, pero a la hora de emplear una tensión de 3,3V, resulta difícil trabajar directamente con un MOSFET, por lo cual, debemos encontrar un modelo de MOSFET que se adapte a nuestras limitaciones o realizar una etapa de preamplificación, entre la salida de Raspberry Pi y el MOSFET.

El siguiente circuito nos permite controlar grandes cargas con 3,3V, gracias a las características eléctricas del IRLML6344 [5].

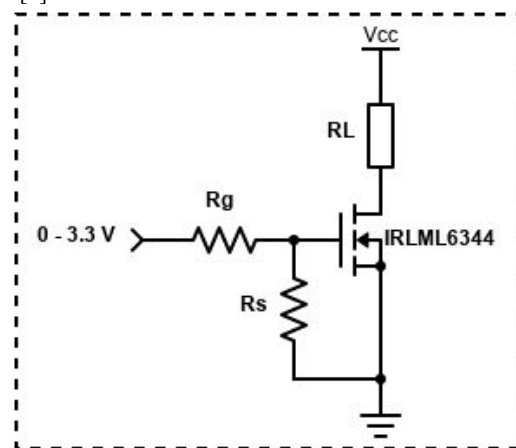


Fig. 6. MOSFET IRLML6344

Aunque como se comentó en el apartado anterior, por lo general se emplea una etapa preamplificadora en estos casos. Por lo que se puede usar una etapa BJT como driver.

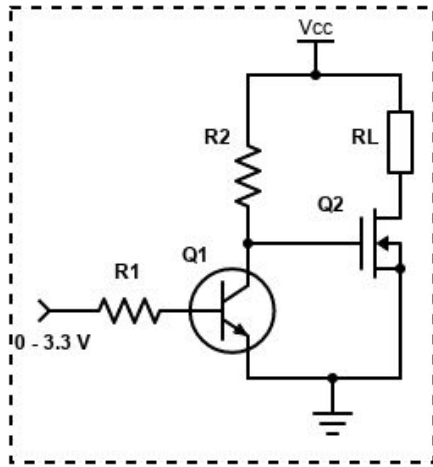


Fig. 7. Preamplificador con BJT

D. MODELOS DE MOSFETs

Es importante aclarar que algunos de estos transistores funcionan sin necesidad de una etapa preamplificadora. En términos generales la frecuencia de trabajo de los MOSFET es mayor que en los BJT e IGBT.

Son un poco más caros que los BJT pero su tecnología es superior. Los MOSFETs son los dispositivos semiconductores de potencia más utilizados en el mundo, comúnmente empleados en aplicaciones de RF, electrónica del automóvil, fuentes conmutadas, etc.

TABLA IV. Tabla Comparativa MOSFETs

MOSFET	Tf	Tr	Vds	Id	Costo	Pd	Package
IRF6648	13 ns	29 ns	60 V	86 A	2 \$	89 W	SO-3
IRF9530	70 ns	70 ns	100 V	12 A	1,3 \$	75 W	TO-220
IRF5305	63 ns	66 ns	55 V	31 A	1,2 \$	110 W	TO-220
IRFZ44N	45 ns	60 ns	55 V	49 A	1,1 \$	94 W	TO-220
IRL530	26 ns	53 ns	100 V	17 A	1,1 \$	79 W	TO-220
IRF520	20 ns	50 ns	100 V	8 A	1 \$	40 W	TO-220
IRLML6344	9,1 ns	5,6 ns	30 V	5 A	0,4 \$	1,3 W	SOT-23

VI. IGBT

Se trata de un dispositivo semiconductor diseñado para controlar grandes potencias eléctricas. Se puede considerar como un híbrido entre las tecnologías de los transistores BJT y MOSFET. El circuito de excitación del IGBT es como el de un MOSFET, mientras que sus características de conducción son como las de un BJT.



Fig. 8. Símbolo IGBT

Estos transistores son controlados por tensión y requiere los mismos circuitos de disparo que los utilizados con los MOSFETs de potencia. Además, la velocidad de conmutación es mayor que la obtenida con el bipolar.

Al igual que antes existen IGBTs que pueden ser controlados con Arduino directamente, aunque, no es la configuración más recomendada. Para sacarle el mayor provecho a este transistor podemos utilizar el siguiente circuito que se adapta tanto para Arduino como Raspberry Pi.

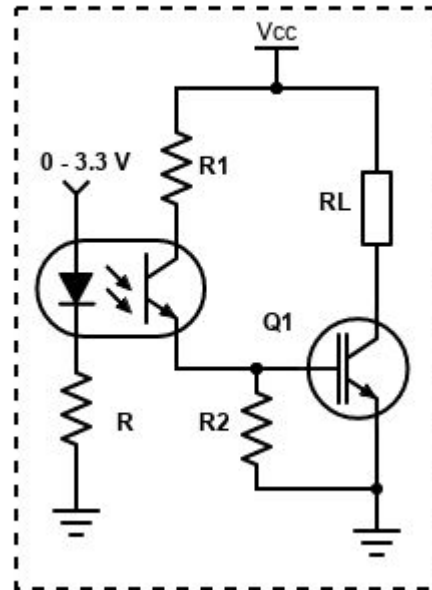


Fig. 9. Circuito simple con IGBT

Este circuito, como los anteriores, se adapta bien para cargas resistivas puras.

A. MODELOS DE IGBT

En la Tabla V se presentan algunos modelos de IGBT. Estos se pueden utilizar colocando previamente un circuito driver.

Existe una clara diferencia entre los precios de los IGBTs respecto a los transistores vistos anteriormente. Esta tecnología nos permite trabajar con grandes valores de I_c y V_{ce} que pueden ser empleados como control de motor trifásico, aplicaciones de altas y medias energía como fuente conmutada, ups, relevadores de estado sólido, etc.

TABLA V. Tabla Comparativa IGBT

IGBT	Tf	Tr	Vce	Ic	Costo	Pc	Pack
NTE3301	4us	0,1ns	400 V	15 A	7,39 \$	40 W	TO-220
FGA6560	22ns	67ns	650 V	60 A	4 \$	306 W	TO-3P
FGH60N60	15ns	44ns	600 V	60 A	3,5 \$	600 W	TO-247
FGA25N120	45ns	60ns	1,2 kV	25 A	3,5 \$	310 W	TO-3P
FGH40N60	27ns	42ns	600 V	40 A	3 \$	290 W	TO-247
RJH60F7	95ns	36ns	600 V	90 A	2,1 \$	329 W	TO-3P
MGP15N60U	0.25us	39ns	600 V	26 A	1 \$	96 W	TO-220

VII. CONCLUSIONES

A la hora de utilizar transistores de potencia como conmutador, empleando placas de desarrollo para su control, podemos seleccionar cualquier tecnología vista anteriormente. Estas subfamilias de transistores presentan ventajas y desventajas, por lo que claramente la elección del transistor dependerá de nuestra aplicación. A partir de las tablas comparativas entre las diferentes tecnologías de transistores se puede ver que, en cuanto a costos, los IGBT son los más caros, en comparación con los MOSFET y BJT. Esto se debe a que pueden controlar mucha potencia como se puede apreciar en la Tabla V. En cuanto a los MOSFET como ya se mencionó anteriormente, los mismos presentan una alta frecuencia de trabajo lo que los hace ideales para aplicaciones en donde se necesita alta velocidad de conmutación.

En algunos casos se necesitará una etapa preamplificadora, sobre todo en placas de desarrollo cuya salida digital es 3,3 V. Debido a que los BJT son controlados por corriente, en muchos casos no haría falta un circuito driver, lo que es una ventaja en comparación con las otras tecnologías, donde casi siempre se debe aplicar un circuito de estos para que el transistor funcione correctamente a su máxima capacidad.

Teniendo en cuenta las dos placas de desarrollo utilizadas, para fines generales, donde no se requiere una alta frecuencia de trabajo, resulta conveniente el uso de Arduino por su salida de mayor voltaje y corriente. Además, en muchas ocasiones, la frecuencia de trabajo del transistor no supera la de Arduino.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hoja de datos IRF520.
<https://www.infineon.com/dgdl/irf520npbf.pdf?fileId=5546d462533600a4015355e340711985>
- [2] Mohammad H. Rashid, Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, 2da Edición, 1995
- [3] Hoja de datos IRL520.
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/251858/VISHAY/IRL520.html>
- [4] Luis Llamas, Ing. Industrial.
Blog personal: <https://www.luisllamas.es/>
- [5] Hoja de datos IRLML6344.
<https://www.infineon.com/dgdl/irlml6344pbf.pdf?fileId=5546d462533600a4015356689c44262>

DATOS BIBLIOGRÁFICOS



Matias Adriel Vironi, Nacido en Villa del Rosario (Cba) el 05/01/1995. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina.. Sus intereses son: Electrónica Digital y Electrónica de Potencia.