

Lección: Inversores de onda cuadrada

* **Introducción**

* **Inversor en medio puente**

* **Inversor “push-pull”**

* **Inversor en puente completo**

◆ *Sin deslizamiento de fase*

◆ *Con deslizamiento de fase*

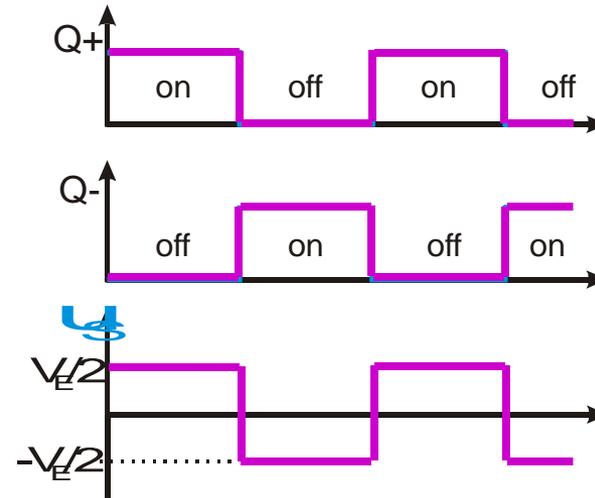
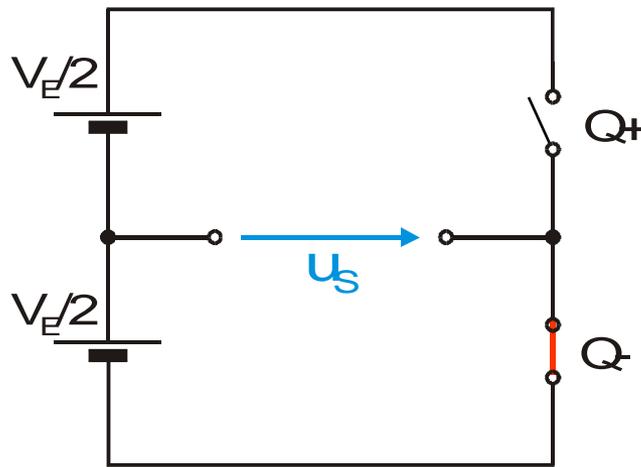
* **Análisis del contenido armónico**

* **Control de inversores de onda cuadrada**

* **Conclusiones**

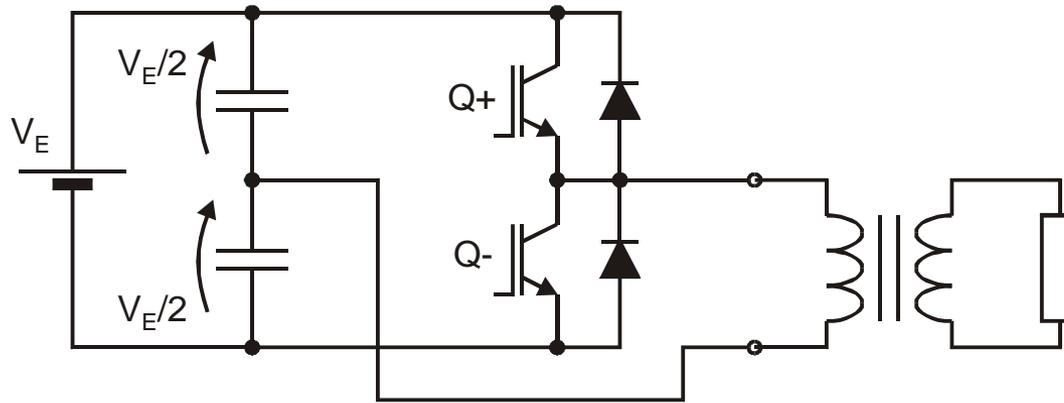


Inversor en medio puente: funcionamiento básico



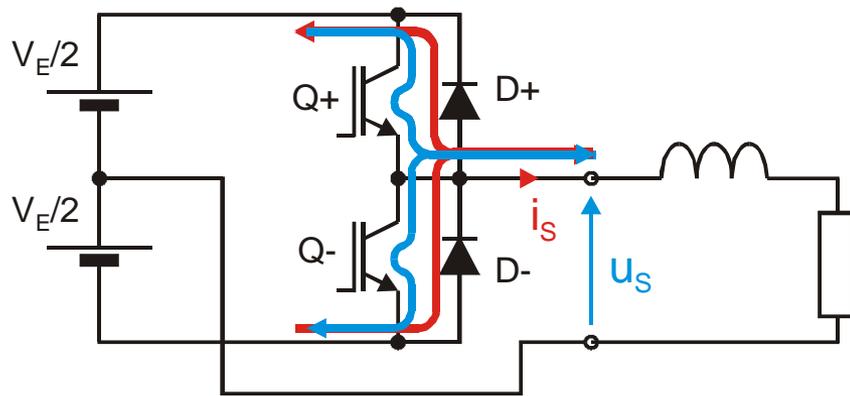
- * Típicamente se emplean señales de gobierno con ciclo de trabajo del 50% y complementarias en los dos interruptores
- * La tensión de salida es una onda cuadrada de amplitud $V_E/2$

Inversor en medio puente: implementación práctica

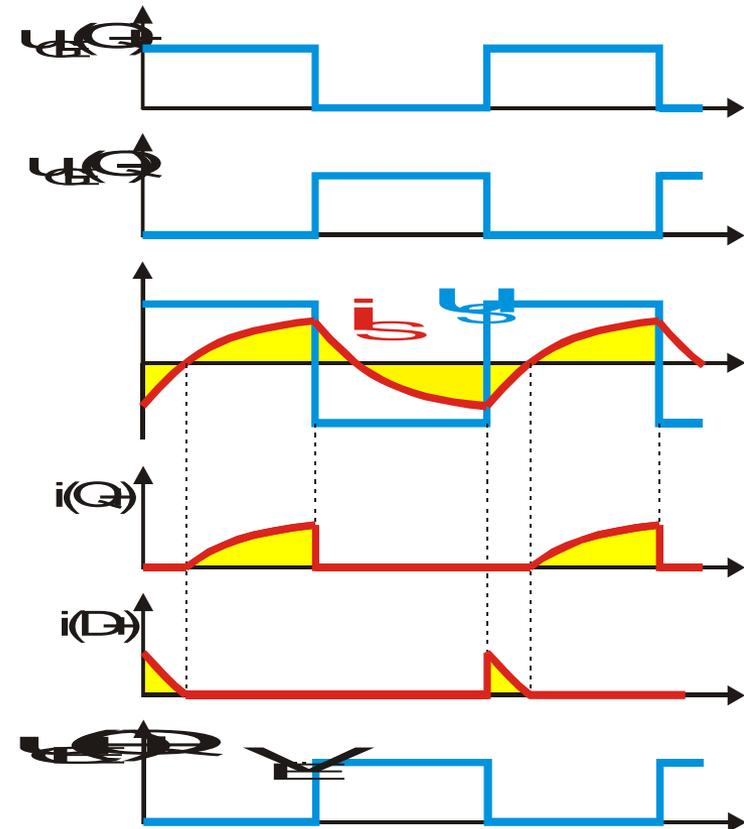


- Funcionamiento en cuatro cuadrantes → diodos
- Fuente única de CC → divisor capacitivo
- Aislamiento → transformador

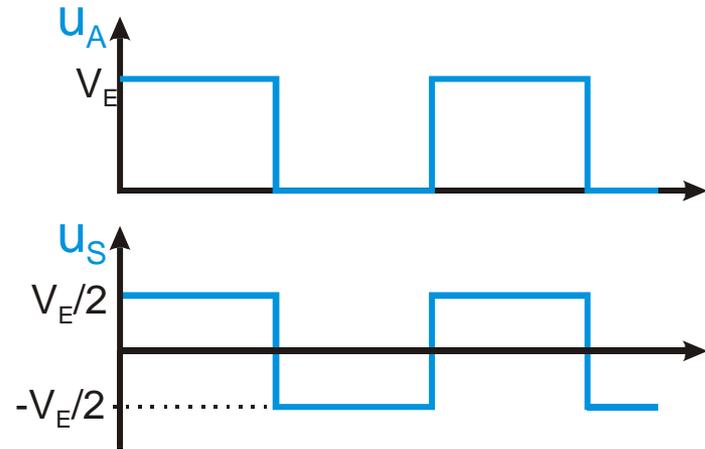
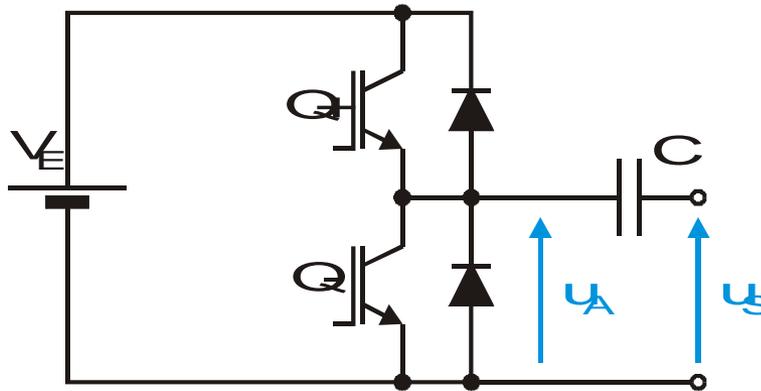
Inversor en medio puente: formas de onda y esfuerzos



Carga R-L



Inversor en medio puente asimétrico



- * Comportamiento equivalente al medio puente monofásico
- * La componente continua de la tensión de salida se elimina mediante el condensador serie C

Inversor en medio puente: resumen de características

- 1) Onda cuadrada de salida: alto contenido armónico*
- 2) Amplitud de salida no controlable*
- 3) Frecuencia de salida variable*
- 4) La tensión que soportan los interruptores es el doble que la amplitud de la señal de salida*
- 5) Las señales de gobierno de los interruptores no están referidas al mismo punto: circuito de control complejo*

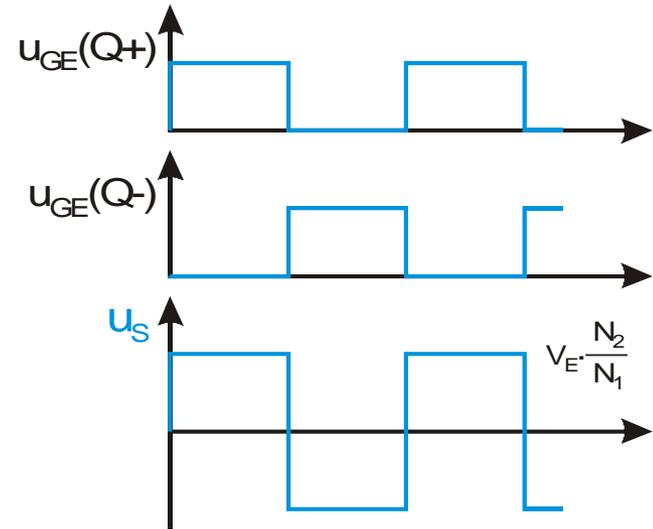
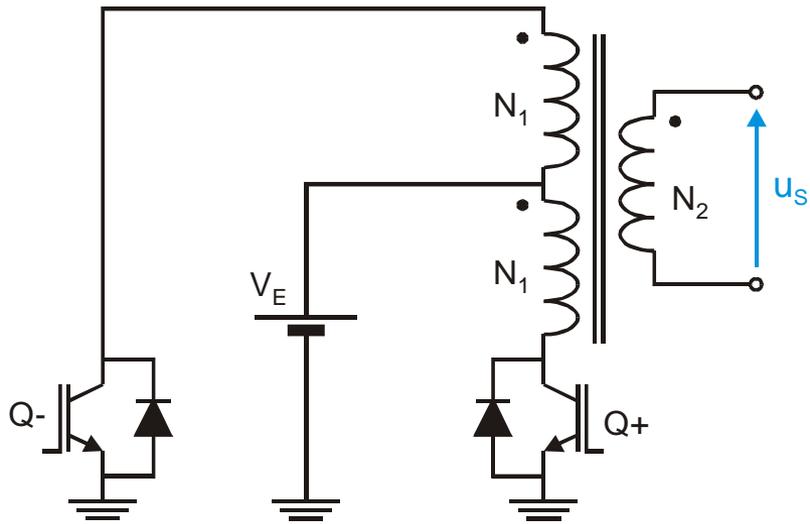


Lección: Inversores de onda cuadrada

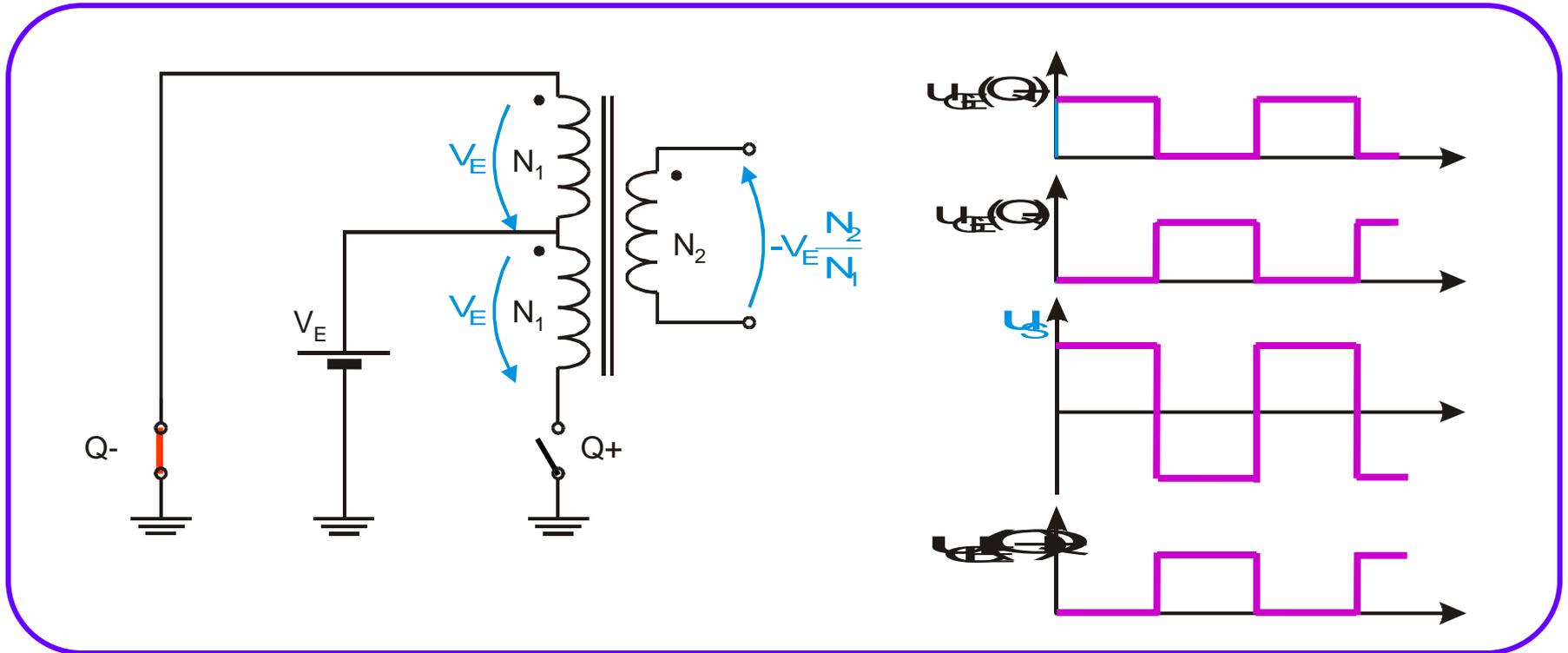
- * Introducción**
- * Inversor en medio puente**
- * Inversor “push-pull”**
- * Inversor en puente completo**
 - ◆ Sin deslizamiento de fase**
 - ◆ Con deslizamiento de fase**
- * Análisis del contenido armónico**
- * Control de inversores de onda cuadrada**
- * Conclusiones**



Inversor "push-pull"



Inversor "push-pull": funcionamiento básico



Inversor “push-pull”: resumen de características

- 1) Onda cuadrada de salida*
- 2) Topología con aislamiento*
- 3) Las señales de control de ambos transistores están referidas al mismo punto: control sencillo*
- 4) La tensión que soportan los interruptores es el doble que la tensión de entrada V_E*
- 5) Cualquier asimetría en las señales de control o en el transformador puede dar lugar a la saturación del núcleo*

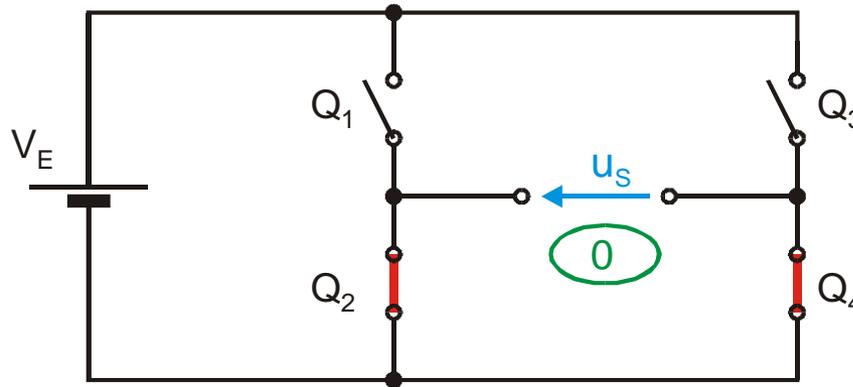


Lección: Inversores de onda cuadrada

- * Introducción**
- * Inversor en medio puente**
- * Inversor “push-pull”**
- * Inversor en puente completo**
 - ◆ Sin deslizamiento de fase**
 - ◆ Con deslizamiento de fase**
- * Análisis del contenido armónico**
- * Control de inversores de onda cuadrada**
- * Conclusiones**



Inversor en puente completo

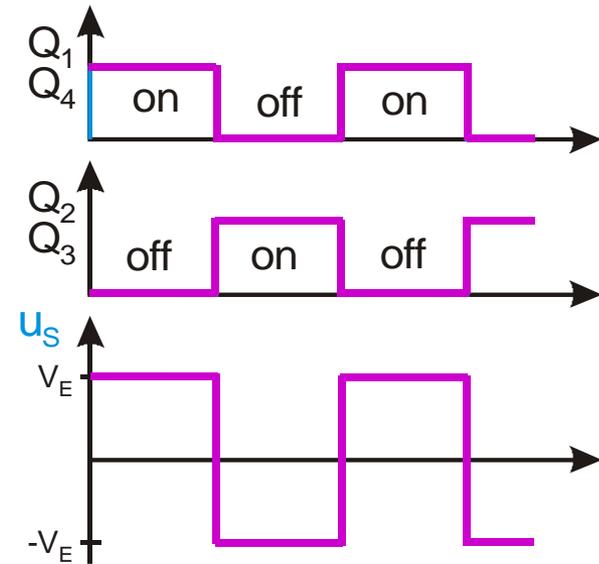
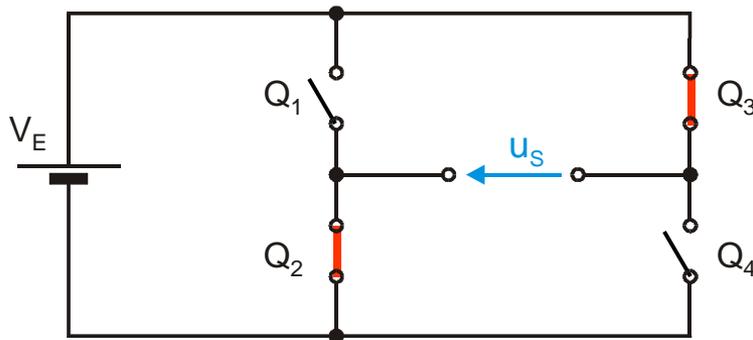


Cuatro interruptores: **mayores posibilidades de control**

- Interruptores de la diagonal Q_1 - $Q_4 \rightarrow u_S = +V_E$
- Interruptores de la diagonal Q_2 - $Q_3 \rightarrow u_S = -V_E$
- Interruptores de la parte superior Q_1 - $Q_3 \rightarrow u_S = 0$
- Interruptores de la parte inferior Q_2 - $Q_4 \rightarrow u_S = 0$

Inversor en puente completo: funcionamiento

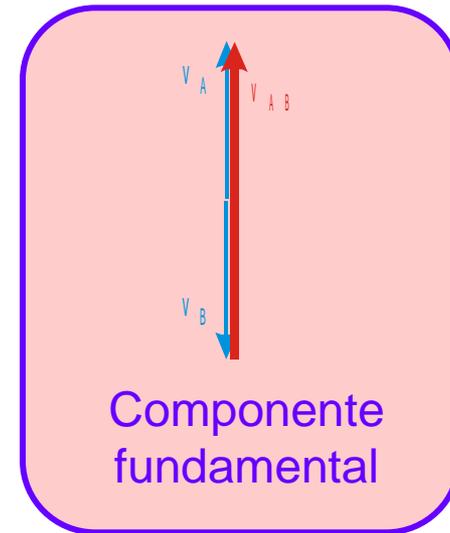
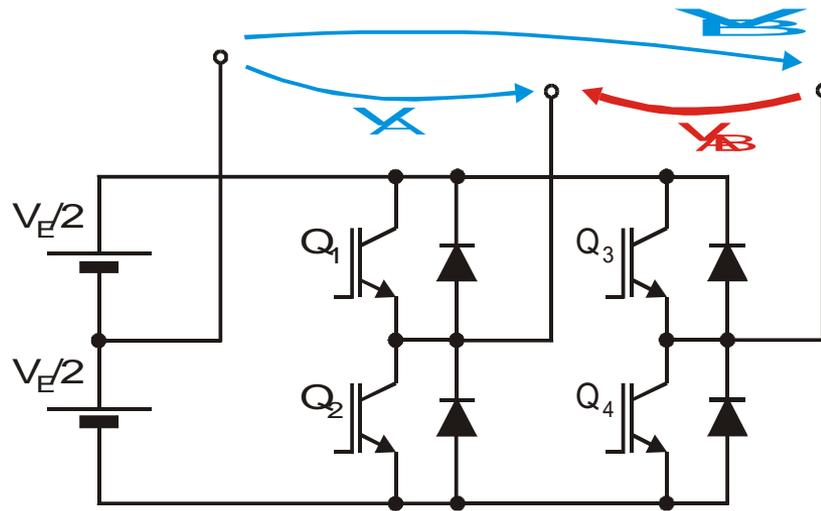
Control sin deslizamiento de fase



- Permite manejar el doble de potencia que un medio puente para el mismo esfuerzo en los interruptores

Inversor en puente completo

Método de análisis alternativo: derivación a partir del medio puente

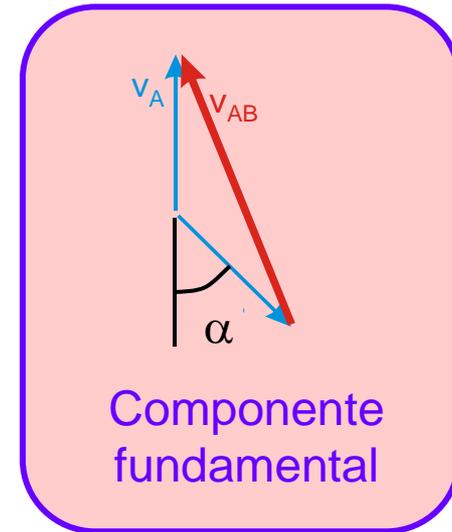
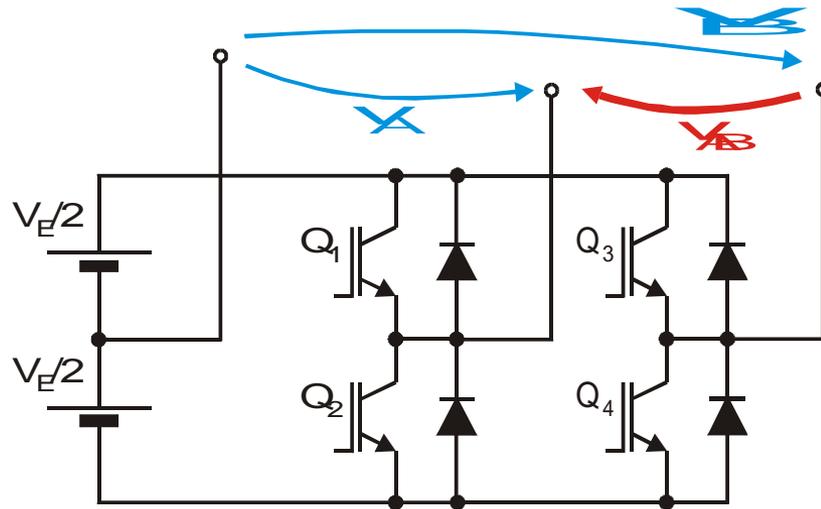


¿Se puede modificar la amplitud de salida modificando la fase relativa entre ambas ramas?

Control por deslizamiento de fase

Inversor en puente completo

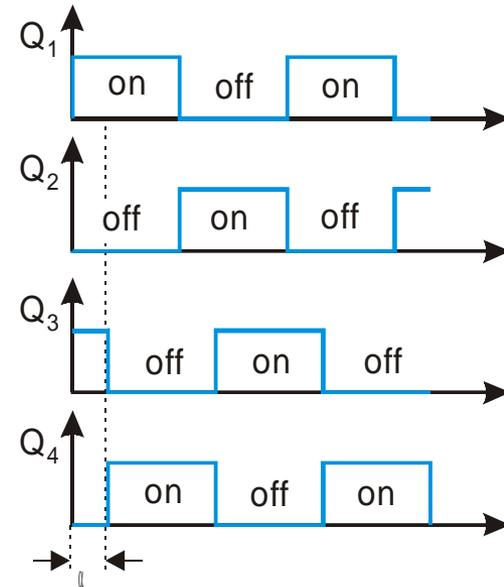
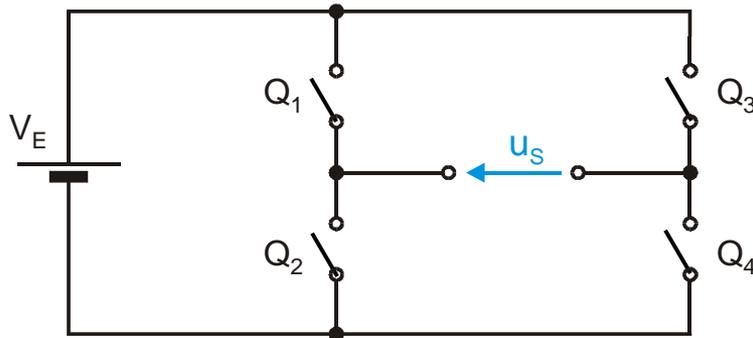
Control con deslizamiento de fase



- Se puede ajustar la amplitud de salida mediante el ángulo α

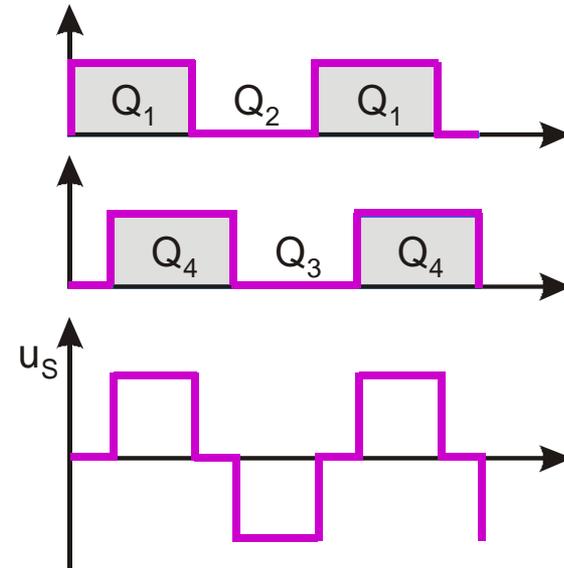
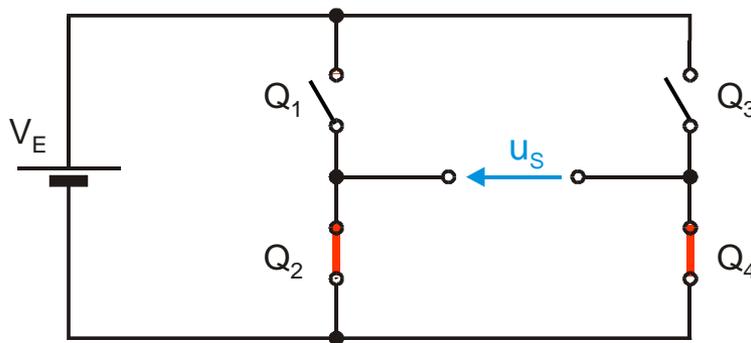
Inversor en puente completo

Control con deslizamiento de fase



Inversor en puente completo

Control con deslizamiento de fase



- Se puede ajustar la amplitud de salida u_s mediante el ángulo α
- La forma de onda obtenida es más próxima a una onda senoidal:

menor contenido armónico

Inversor en puente completo: resumen de características

- 1) La tensión de salida puede tomar tres valores: V_E , $-V_E$ y 0*
- 2) Permite el control de la amplitud de salida*
- 3) Permite reducir el contenido armónico en la salida*
- 4) Los esfuerzos de tensión en los interruptores son iguales a la tensión máxima de salida*



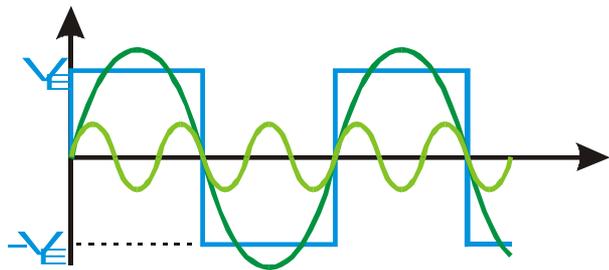
Lección: Inversores de onda cuadrada

- * Introducción**
- * Inversor en medio puente**
- * Inversor “push-pull”**
- * Inversor en puente completo**
 - ◆ Sin deslizamiento de fase**
 - ◆ Con deslizamiento de fase**
- * Análisis del contenido armónico**
- * Control de inversores de onda cuadrada**
- * Conclusiones**



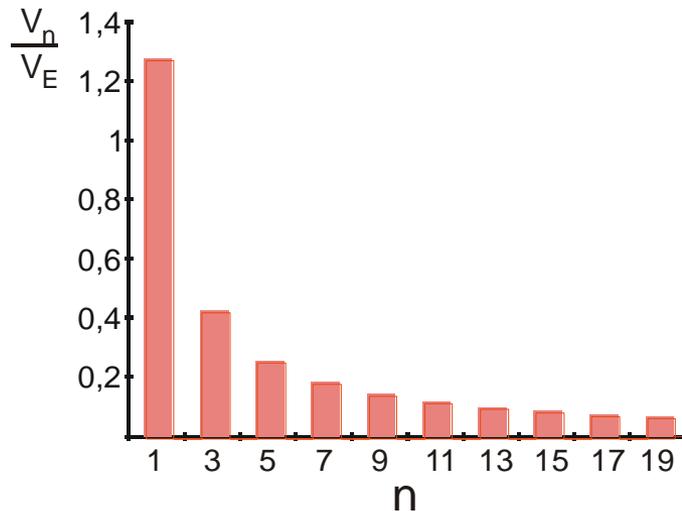
Análisis del contenido armónico

Medio puente, push-pull y puente completo **sin** deslizamiento



Fourier

$$V_n(\text{pico}) = \frac{2 \cdot V_E}{\pi} \int_0^{\pi} V_A(1 - \cos(n\theta)) d\theta$$



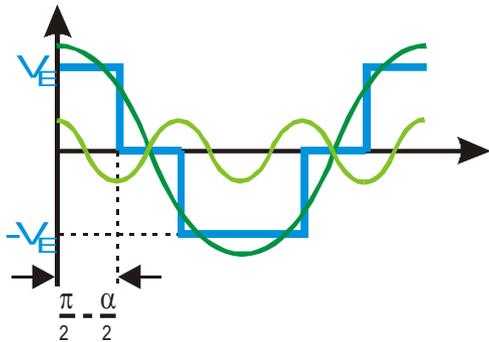
Componente fundamental:

$$V_1(\text{pico}) = \frac{4 \cdot V_E}{\pi}$$

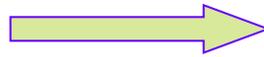
Elevado THD: 48%

Análisis del contenido armónico

Puente completo con deslizamiento de fase

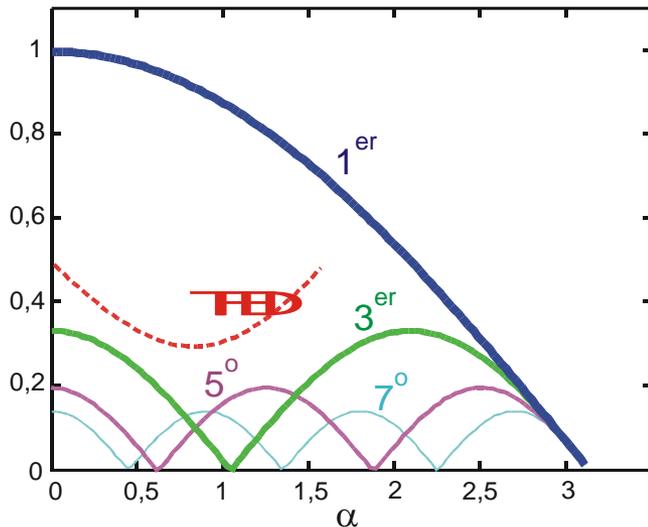


Fourier



$$V_n(\text{pico}) = \frac{4}{\pi} \cdot \int_0^{\frac{\pi-\alpha}{2}} V_E \cdot \cos(n \cdot \theta) \cdot d\theta \quad \text{para } n = 1, 3, 5, \dots$$

$$V_n(\text{pico}) = \frac{4 \cdot V_E}{n \cdot \pi} \cdot \text{sen} \left(n \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \right) \quad \text{para } n = 1, 3, 5, \dots$$



- * El ángulo de deslizamiento α permite ajustar la componente fundamental de la tensión de salida
- * El contenido armónico depende del ángulo α

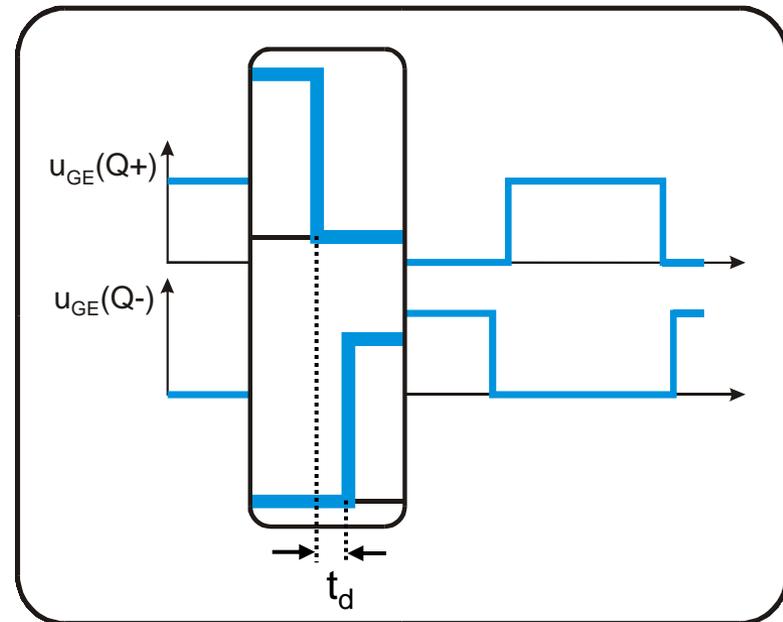
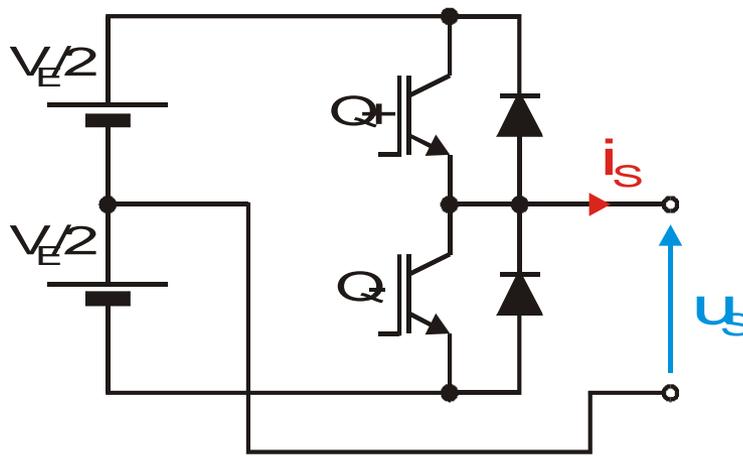
Lección: Inversores de onda cuadrada

- * Introducción**
- * Inversor en medio puente**
- * Inversor “push-pull”**
- * Inversor en puente completo**
 - ◆ Sin deslizamiento de fase**
 - ◆ Con deslizamiento de fase**
- * Análisis del contenido armónico**
- * Control de inversores de onda cuadrada**
- * Conclusiones**



Control de inversores de onda cuadrada

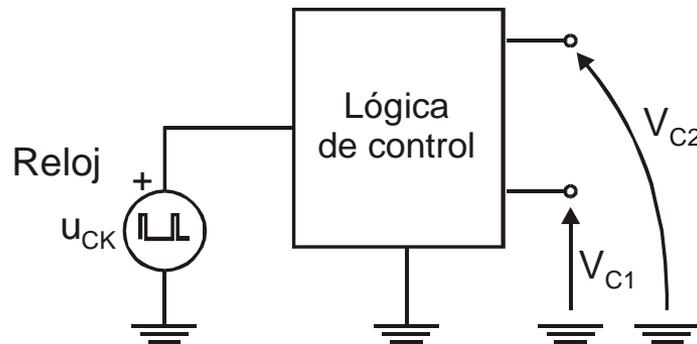
Problemática del control de un medio puente



- Es necesario incluir tiempos muertos para evitar cortocircuitos puntuales de rama debidos a los tiempos de conmutación

Control de inversores de onda cuadrada

Problemática del control de un medio puente

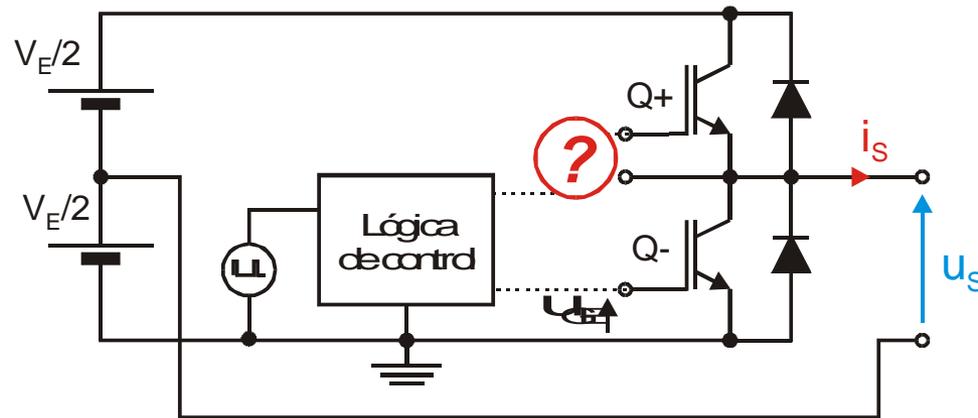


Circuitos integrados específicos:

- SG3524
- LM3525
- ...

Control de inversores de onda cuadrada

Problemática del control de un medio puente



Las señales de control no están referidas al mismo punto:

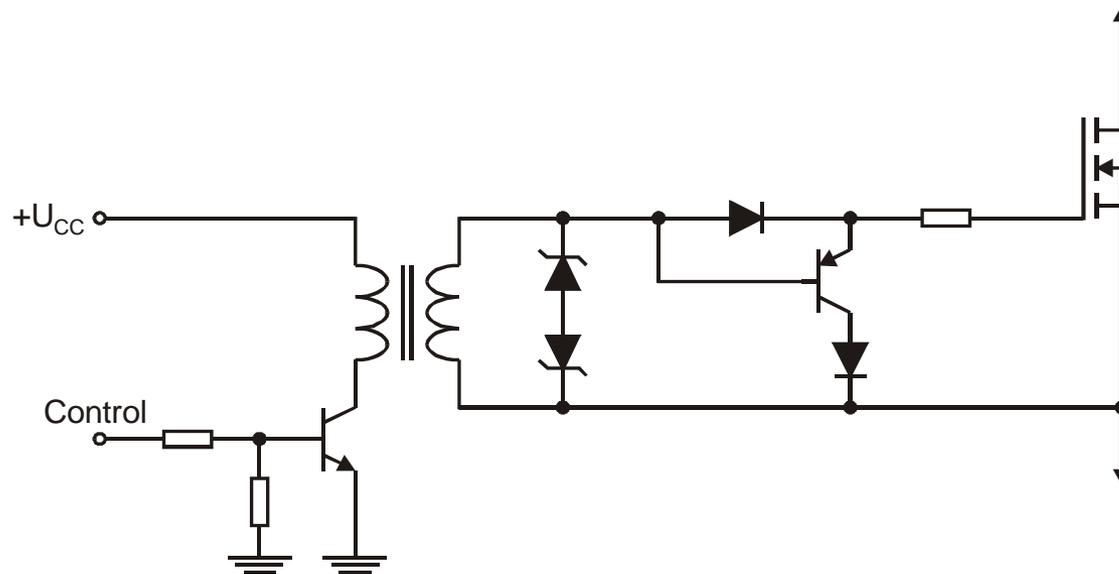
es necesario aislamiento

Opciones:

- *Transformador de impulsos para el transistor superior*
- *Fuente aislada + optoacoplador*
- *Circuitos integrados específicos para el control de un medio puente*

Control de inversores de onda cuadrada

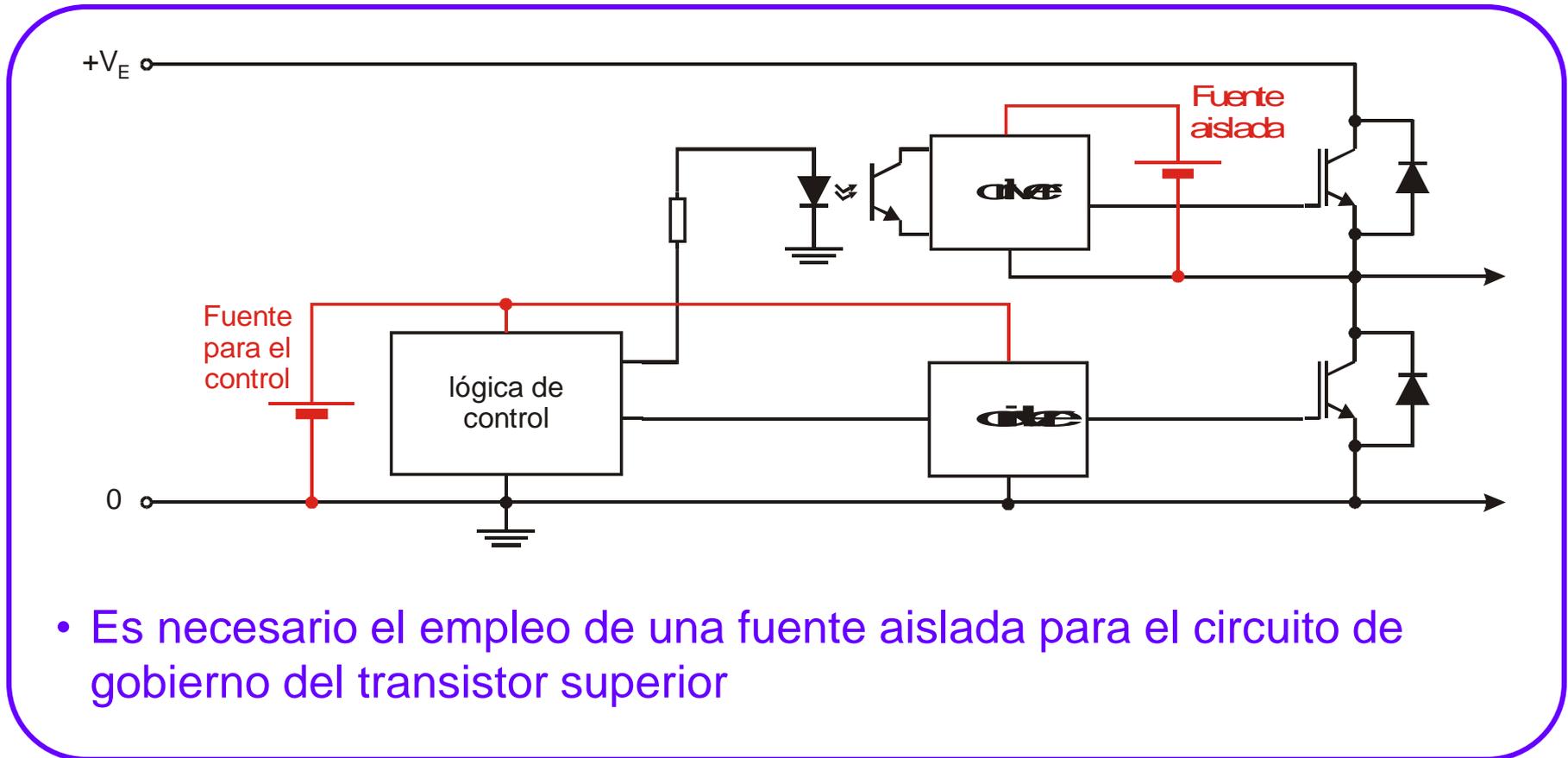
Control de un medio puente: *transformador de impulsos*



Transformador de impulsos para el gobierno de un MOSFET

Control de inversores de onda cuadrada

Control de un medio puente: *optoacoplador + fuente aislada*

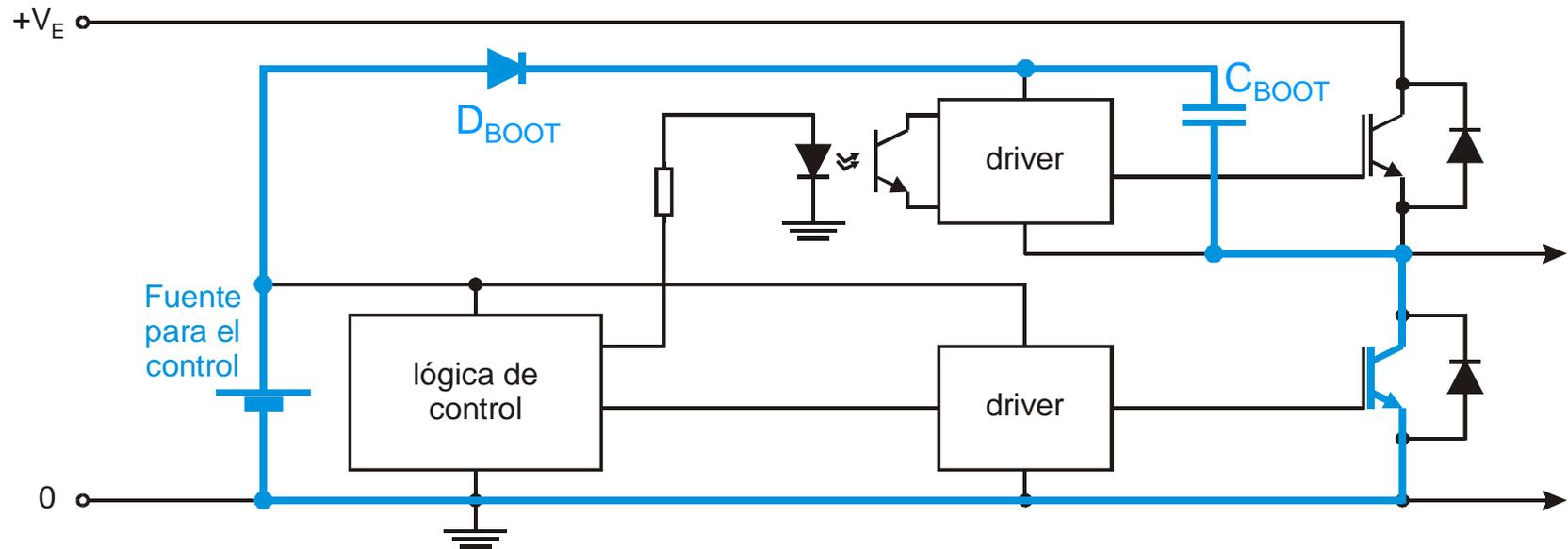


- Es necesario el empleo de una fuente aislada para el circuito de gobierno del transistor superior

Control de inversores de onda cuadrada

Control de un medio puente: *optoacoplador + fuente aislada*

Obtención de la fuente aislada mediante la técnica "bootstrap"



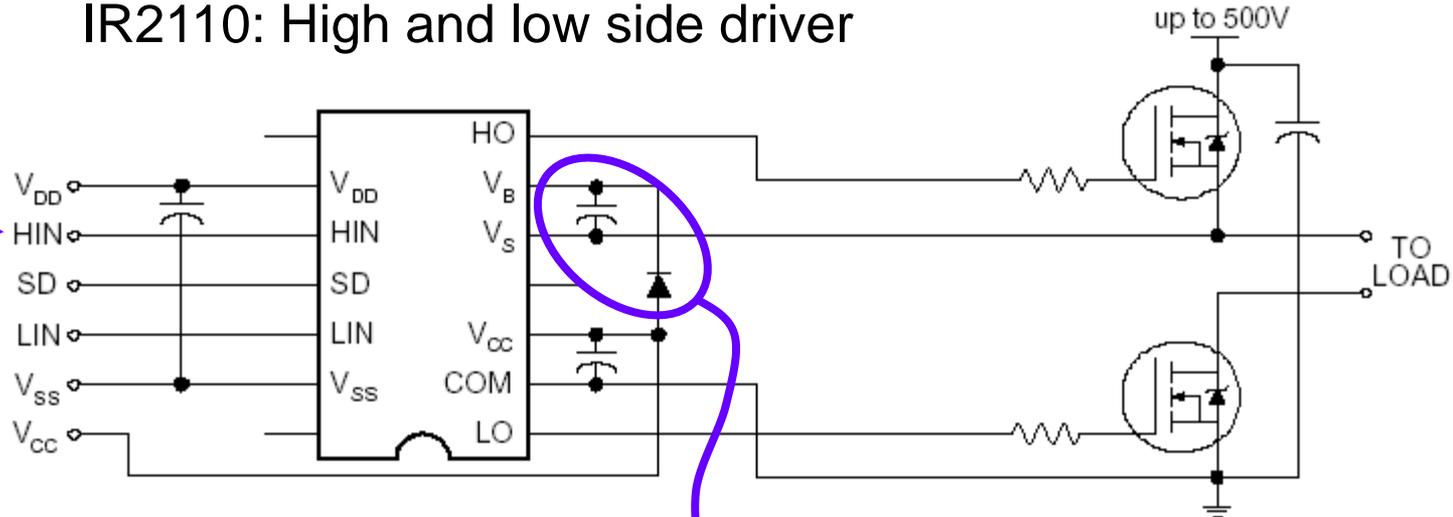
- Cuando conmuta el transistor inferior C_{BOOT} se carga desde la fuente de control a través de D_{BOOT}

Control de inversores de onda cuadrada

Control de un medio puente: *circuitos integrados específicos*

Familia IR21xx: gobierno de un puente de MOSFET + "bootstrap"

IR2110: High and low side driver



Control independiente de los transistores superior e inferior

Alimentación auxiliar "bootstrap"

Control de inversores de onda cuadrada

Control de un medio puente: *módulos específicos*

Familia SKHIxx: gobierno de un puente de IGBT

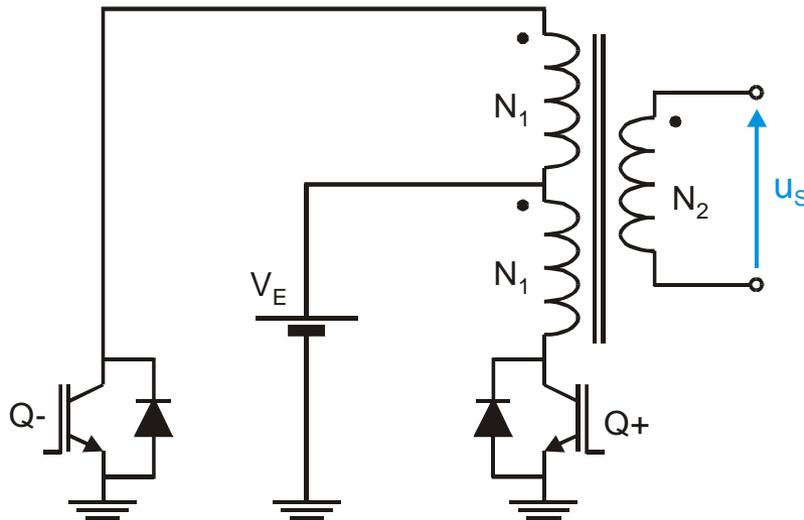
SKHI61: 6-pack driver



- Señales de control aisladas para una o varias ramas de IGBTs
- Acoplamiento aislado mediante optoacopladores o transformador
- Entradas digitales compatibles CMOS o TTL

Control de inversores de onda cuadrada

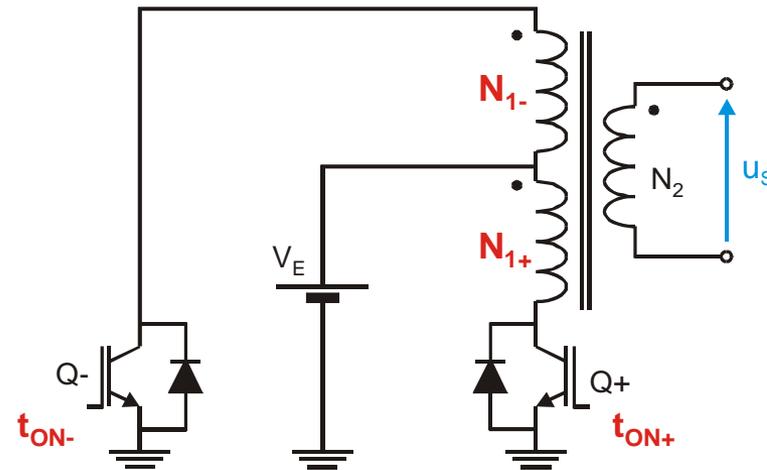
Problemática del control de un inversor “push-pull”



- Señales de control referidas a un punto común
- Es necesario introducir tiempos muertos en las señales de control
- Cualquier asimetría en el transformador o en las señales de control llevan el núcleo a saturación

Control de inversores de onda cuadrada

Problemática del control de un inversor “push-pull”

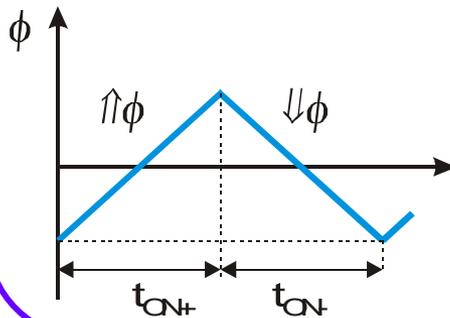


Idealmente:

$$t_{ON+} = t_{ON-}$$

$$N_{1+} = N_{1-}$$

Flujo núcleo



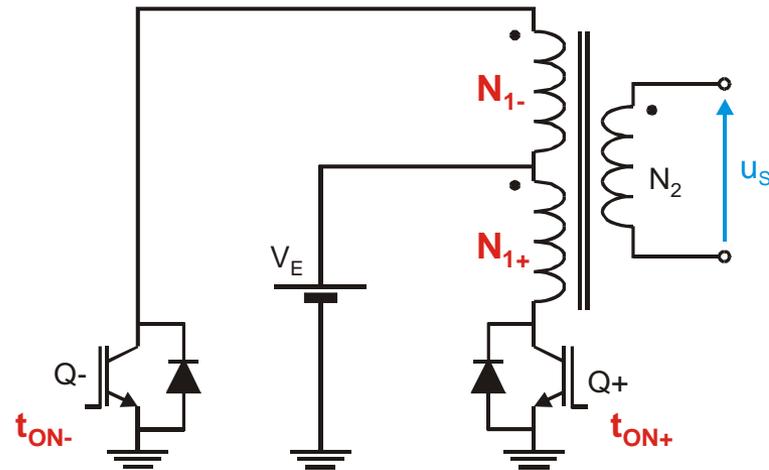
$$\hat{\uparrow}\phi = \frac{V_E}{N_{1+}} \cdot t_{ON+}$$

$$\hat{\downarrow}\phi = \frac{V_E}{N_{1-}} \cdot t_{ON-}$$

$$\hat{\uparrow}\phi = \hat{\downarrow}\phi$$

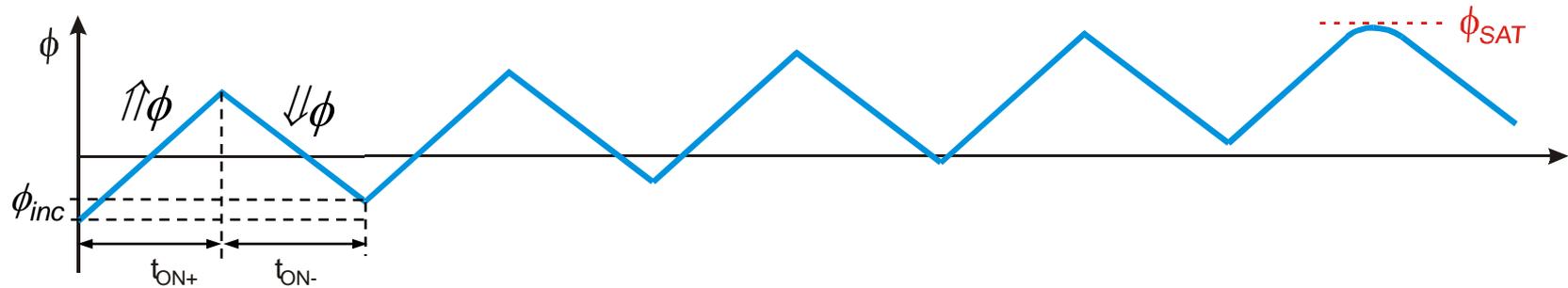
Control de inversores de onda cuadrada

Problemática del control de un inversor “push-pull”



En la práctica:

$$\uparrow\phi \neq \downarrow\phi$$



Control de inversores de onda cuadrada

Problemática del control de un inversor “push-pull”

Conclusiones del funcionamiento del “push-pull”:

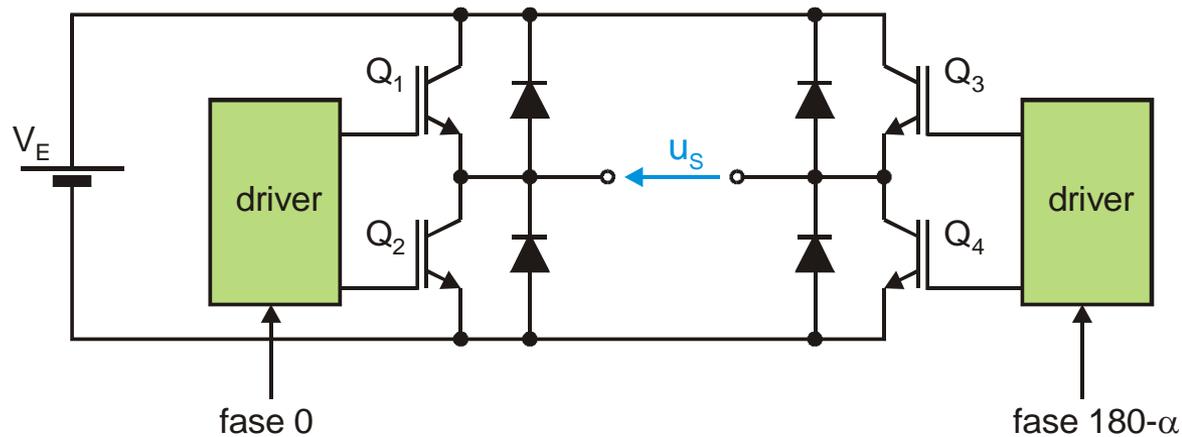
- No es necesario aislamiento en las señales de control
- Es preciso incluir tiempos muertos en las señales de gobierno
- El núcleo del transformador tiende a trabajar en saturación en parte del periodo:

Mayores pérdidas en el material magnético e interruptores



Control de inversores de onda cuadrada

Control de un inversor en puente completo



Misma problemática que en un medio puente:

- Es necesario aislamiento en las señales de control
- Es preciso incluir tiempos muertos en las señales de gobierno de los transistores de una misma rama

Lección: Inversores de onda cuadrada

- * Introducción**
- * Inversor en medio puente**
- * Inversor “push-pull”**
- * Inversor en puente completo**
 - ◆ *Sin deslizamiento de fase*
 - ◆ *Con deslizamiento de fase*
- * Análisis del contenido armónico**
- * Control de inversores de onda cuadrada**
- * Conclusiones**



Conclusiones:

¿Hay alguna forma de reducir el contenido armónico y facilitar el filtrado?

Alto contenido armónico

Conversiones CC/CA

Inversores

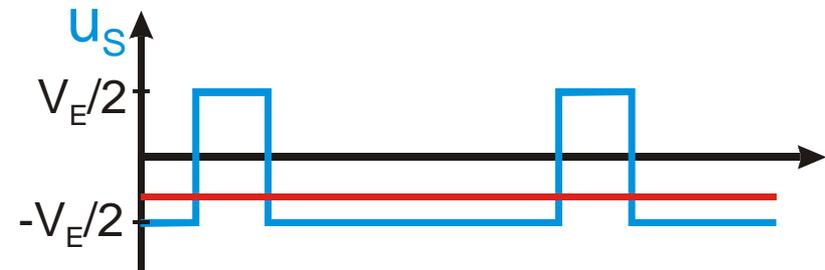
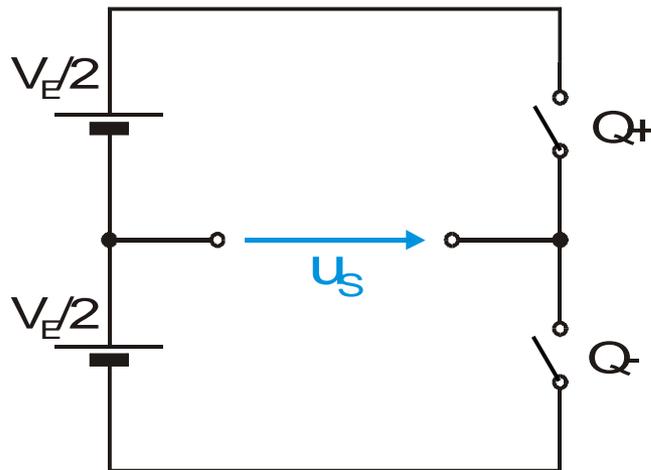
Onda Cuadrada

Pu

Inversores modulados

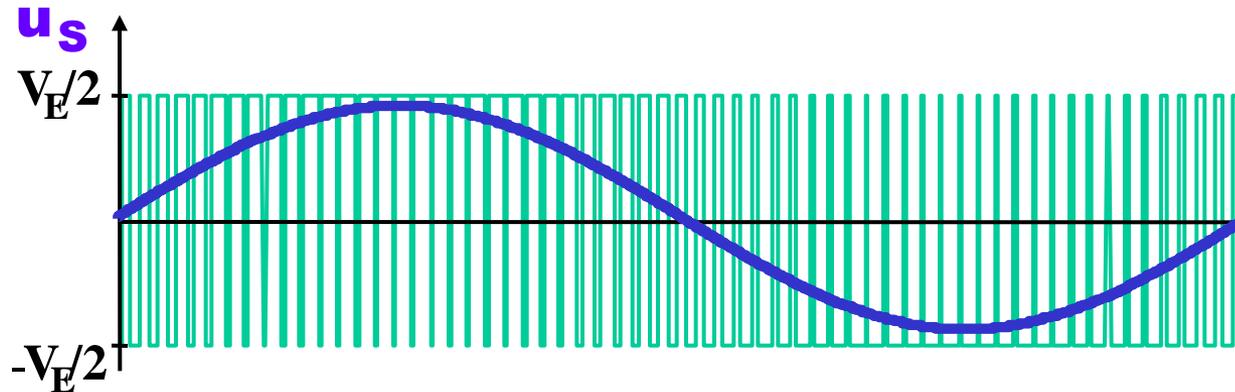


Introducción a los inversores modulados:



- Modificando la proporción de tiempo en que están encendidos los interruptores se puede modificar el valor medio de salida

Introducción a los inversores modulados:



- Frecuencia de conmutación de los interruptores mucho mayor que la de salida \Rightarrow *fácil filtrado*