

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

***INVERTITORI MONOFASE
A TENSIONE IMPRESSA***

Principi di funzionamento di invertitori monofase a tensione impressa

Principi di funzionamento di invertitori monofase a tensione impressa

- Struttura e funzionamento dell'invertitore monofase di tensione a due livelli

Principi di funzionamento di invertitori monofase a tensione impressa

- Struttura e funzionamento dell'invertitore monofase di tensione a due livelli
- Metodi di modulazione a PWM analogici e digitali

Principi di funzionamento di invertitori monofase a tensione impressa

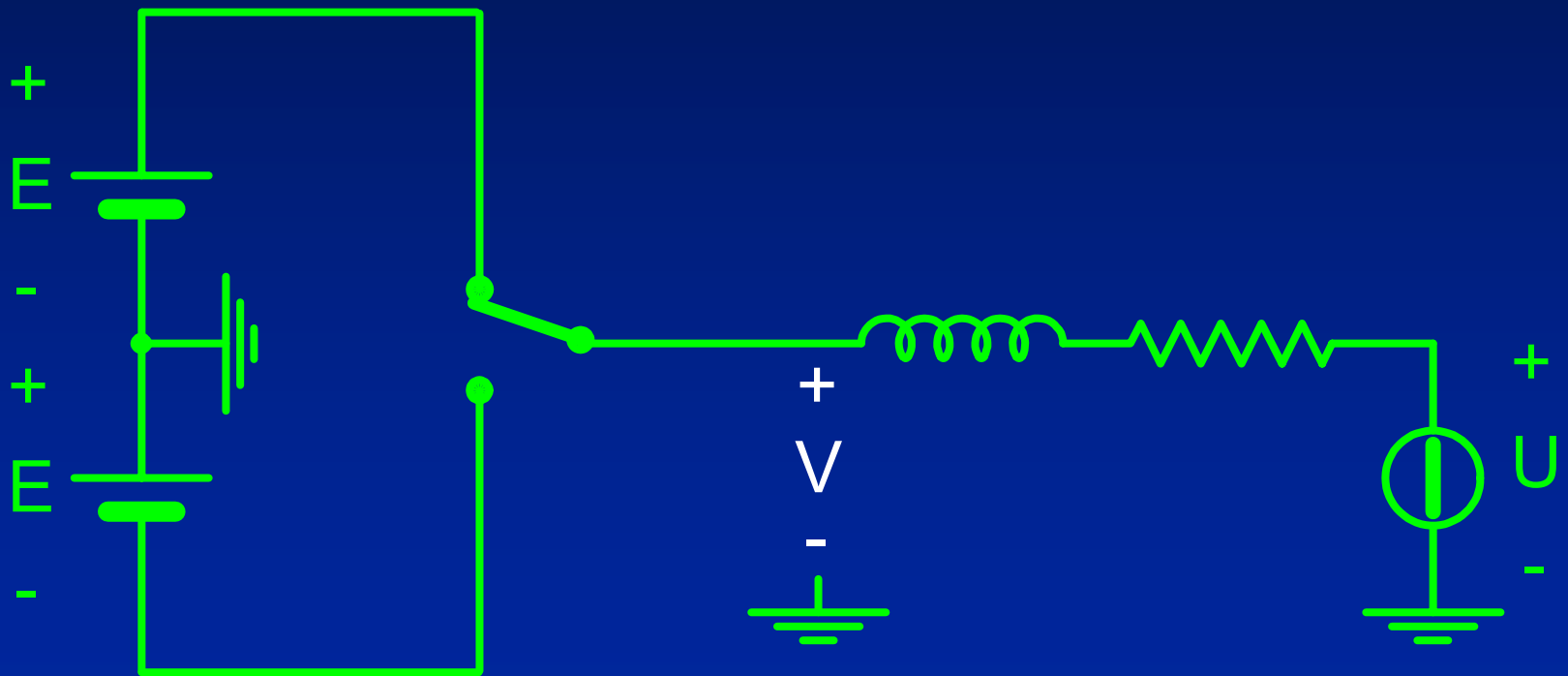
- Struttura e funzionamento dell'invertitore monofase di tensione a due livelli
- Metodi di modulazione a PWM analogici e digitali
- Modulazioni a bassa frequenza di portante e ad onda quadra

Principi di funzionamento di invertitori monofase a tensione impressa

- Struttura e funzionamento dell'invertitore monofase di tensione a due livelli
- Metodi di modulazione a PWM analogici e digitali
- Modulazioni a bassa frequenza di portante e ad onda quadra
- Componenti di potenza per invertitori

Invertitore di tensione monofase a PWM

Generazione di due livelli di tensione:
positivo e negativo



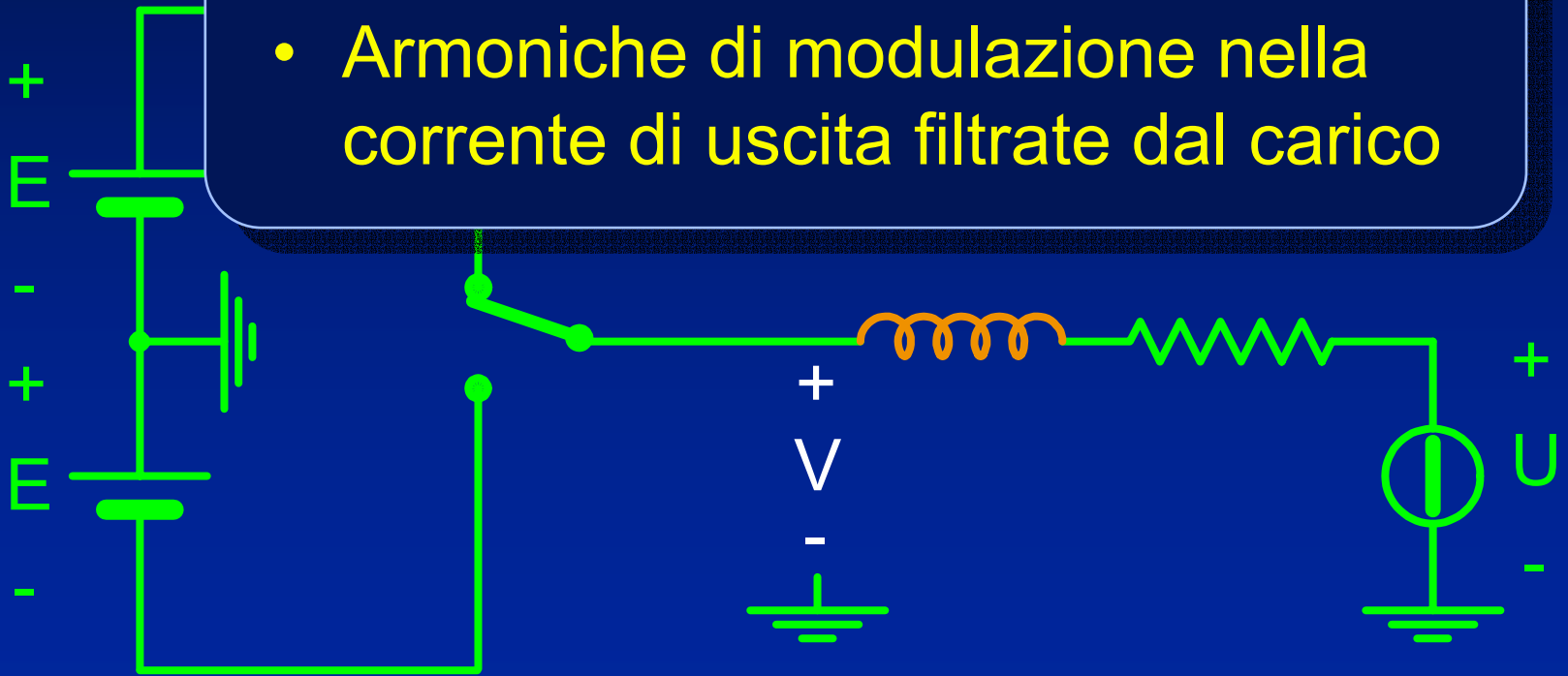
Invertitore Generatore

- Due livelli di tensione di uscita
- Alimentazioni continue (+E e -E) a bassa impedenza
- Carico connesso al punto intermedio delle alimentazioni



Invertitore di tensione monofase a PWM

- Carico induttivo alla frequenza di modulazione
- Armoniche di modulazione nella corrente di uscita filtrate dal carico



Invertitore di tensione monofase a PWM

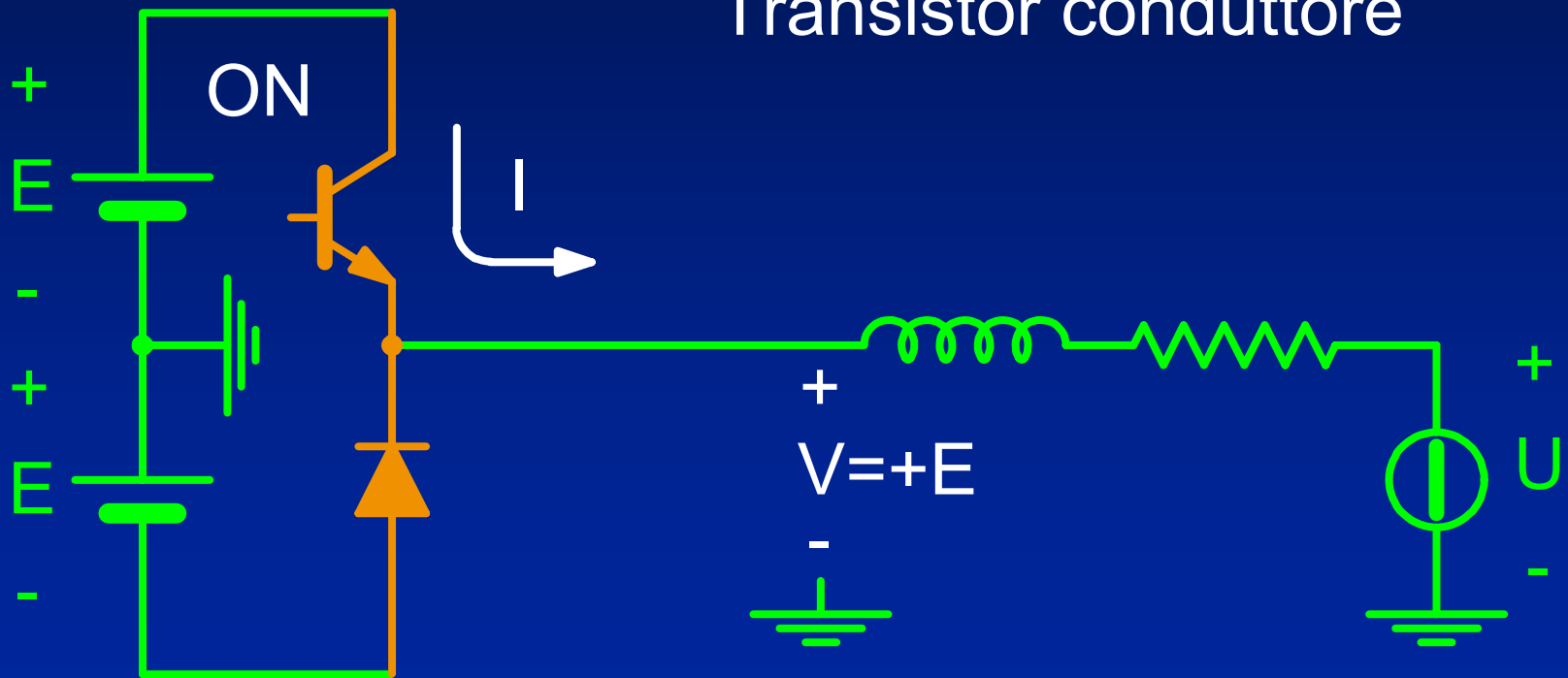
Ge

Per generare i due livelli di tensione con correnti sia entranti che uscenti si estende la struttura del convertitore Buck



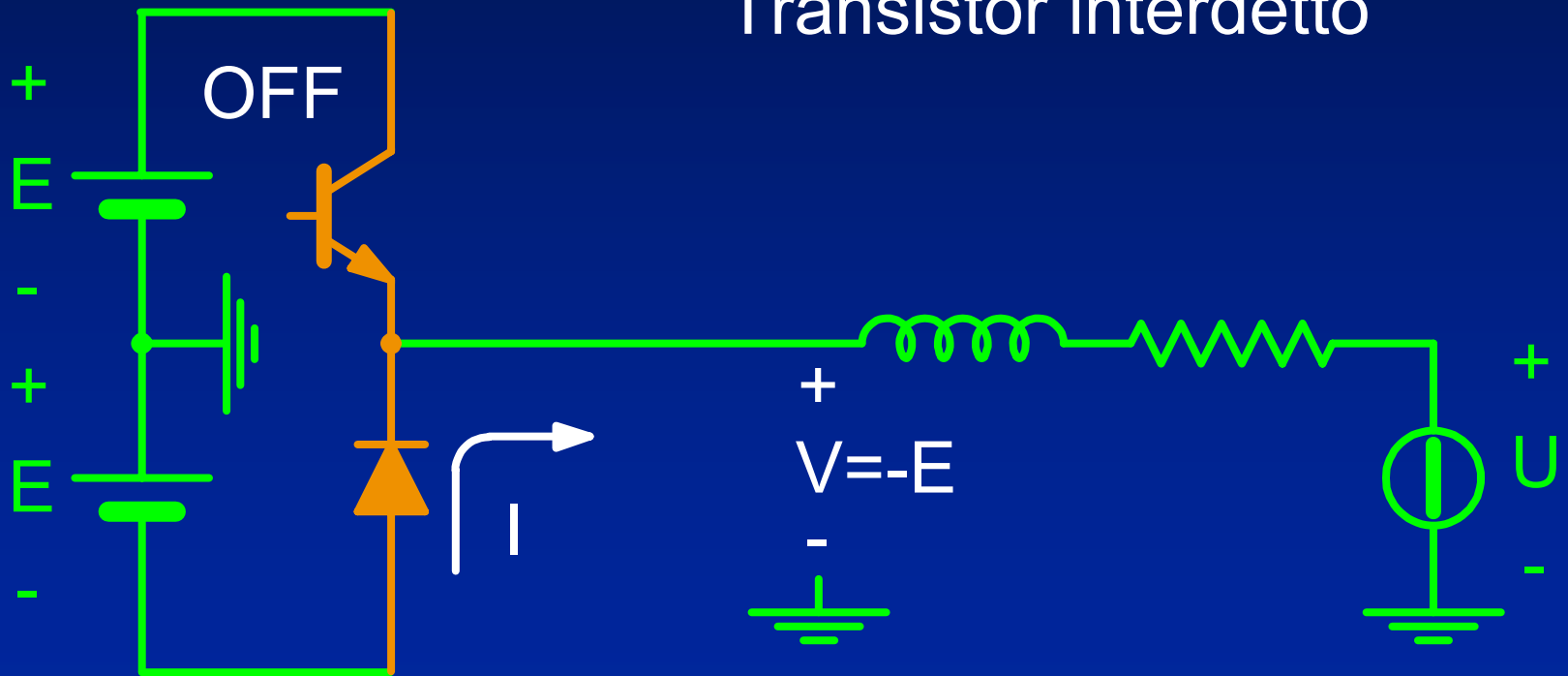
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A) Corrente di carico uscente
Transistor conduttore



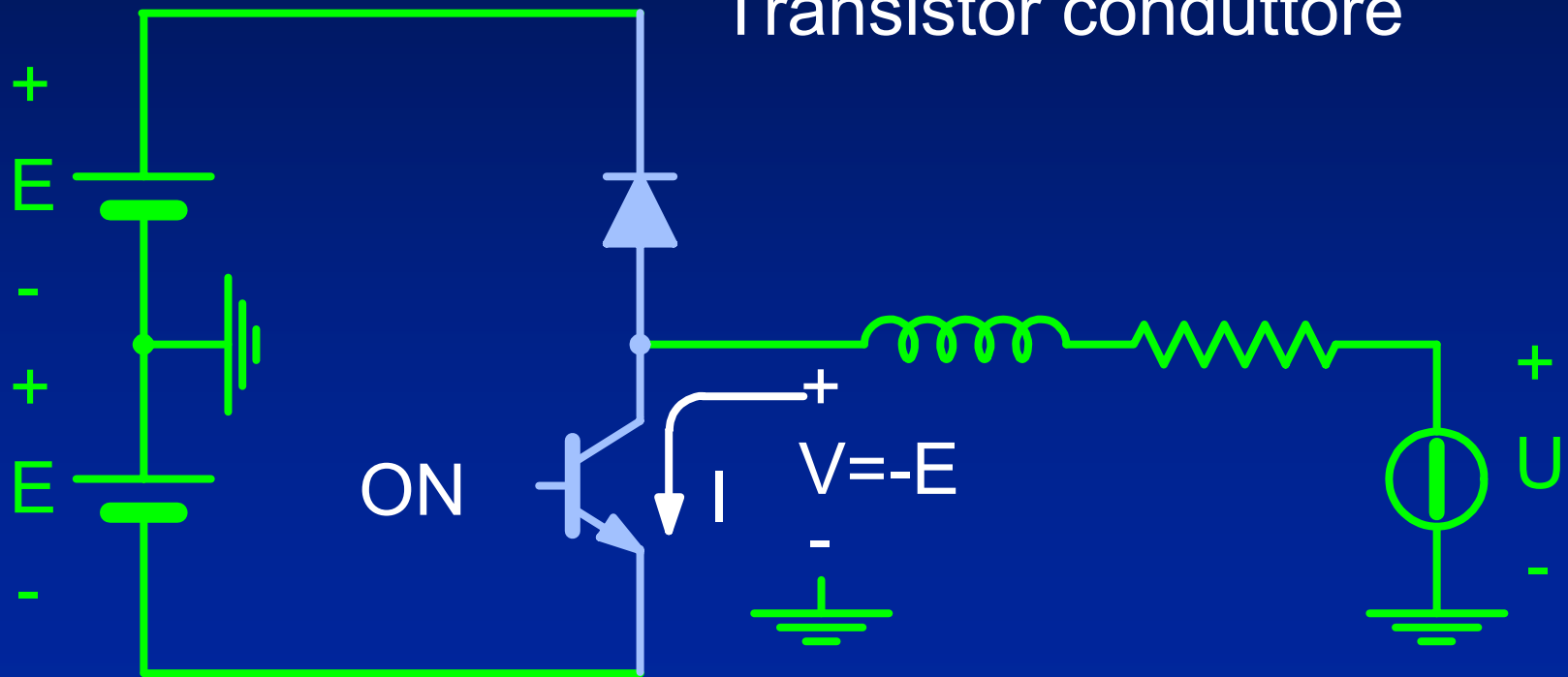
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A) Corrente di carico uscente
Transistor interdetto



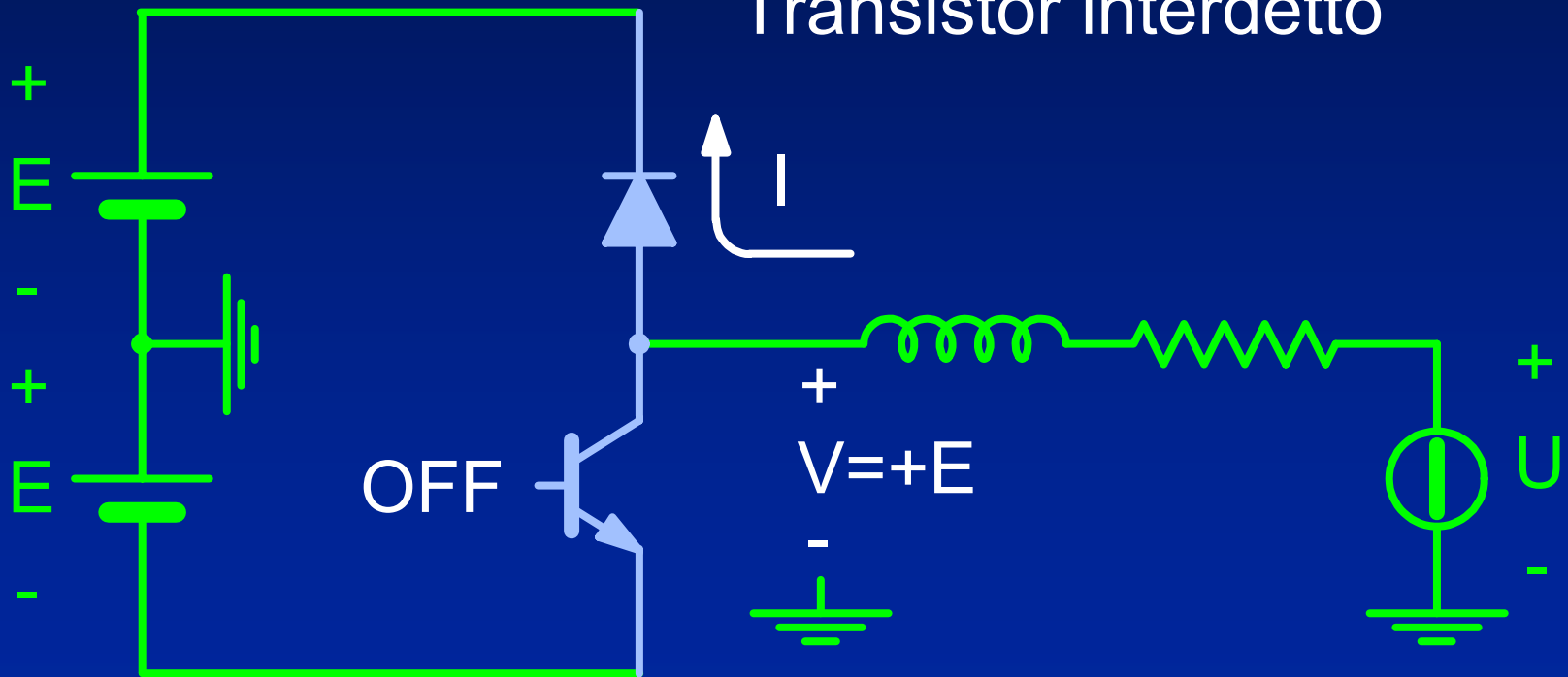
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(B) Corrente di carico entrante
Transistor conduttore



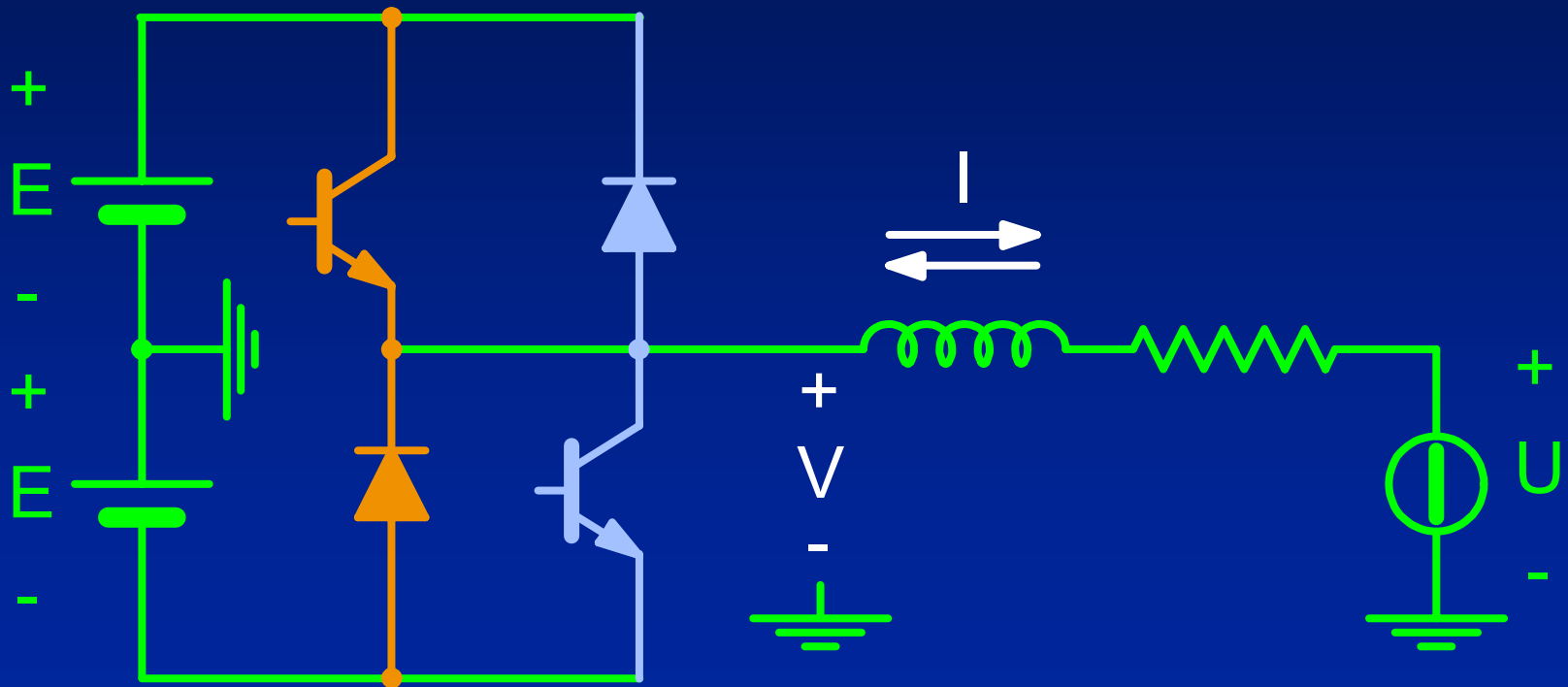
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(B) Corrente di carico entrante
Transistor interdetto

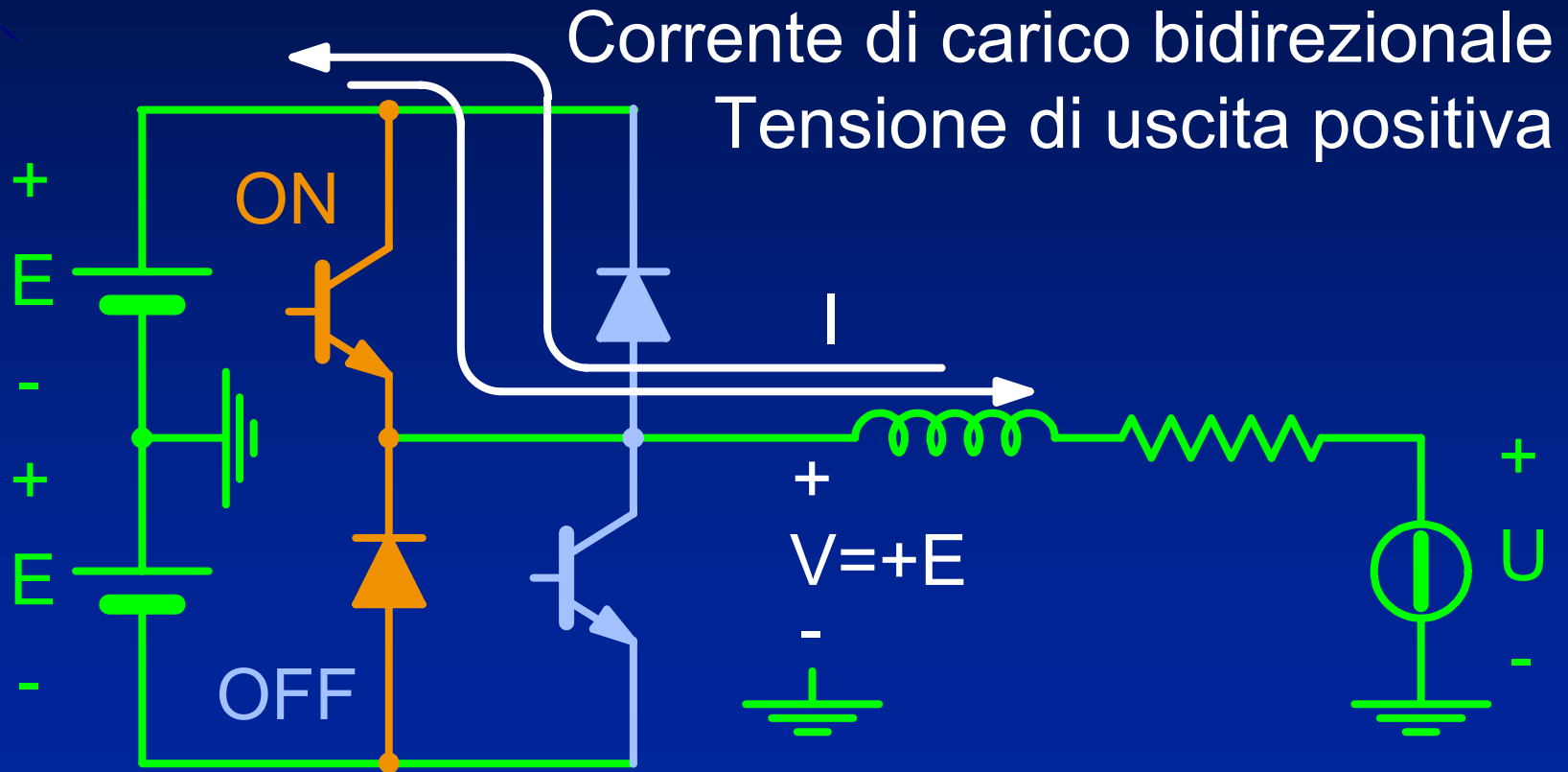


Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A+B) Corrente di carico bidirezionale



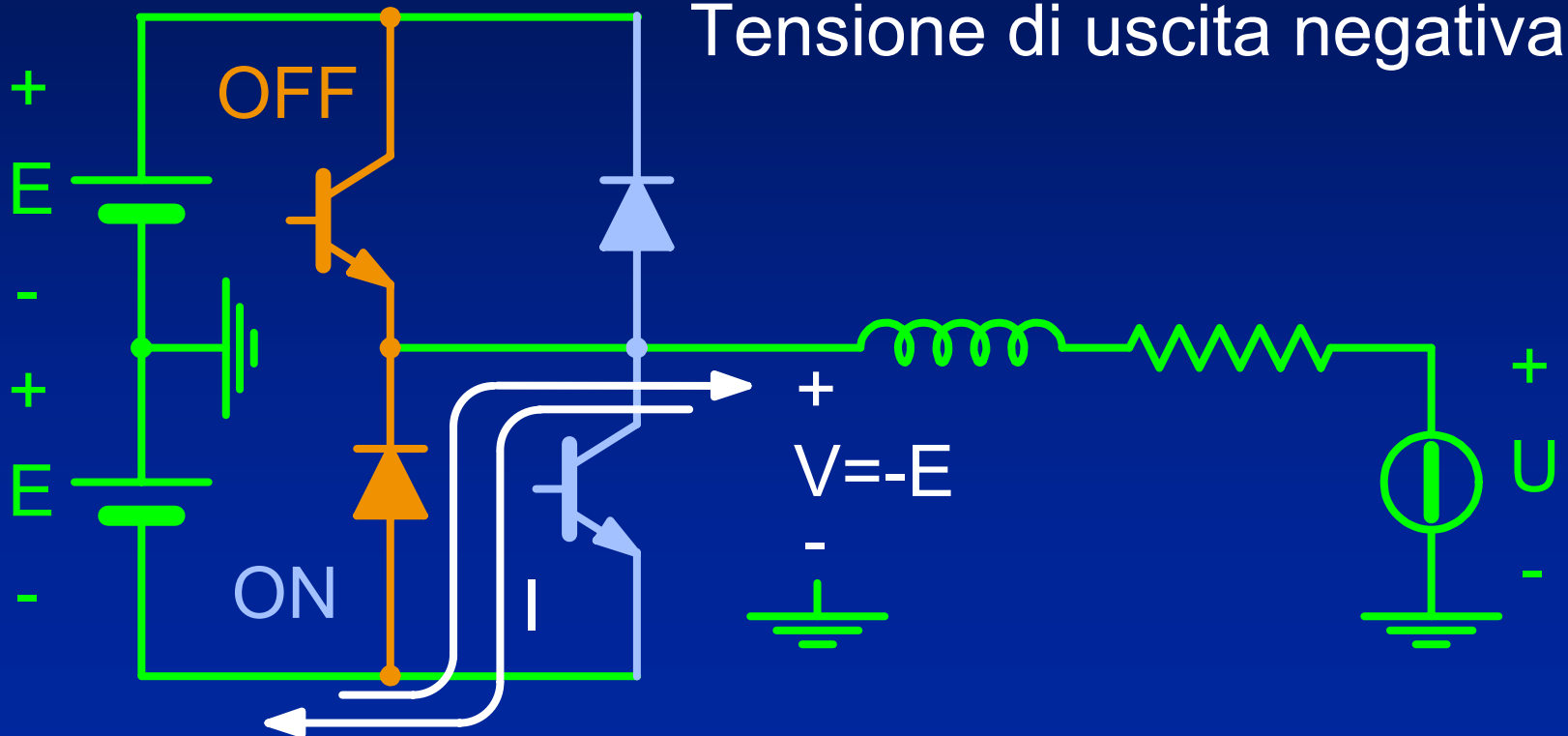
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli



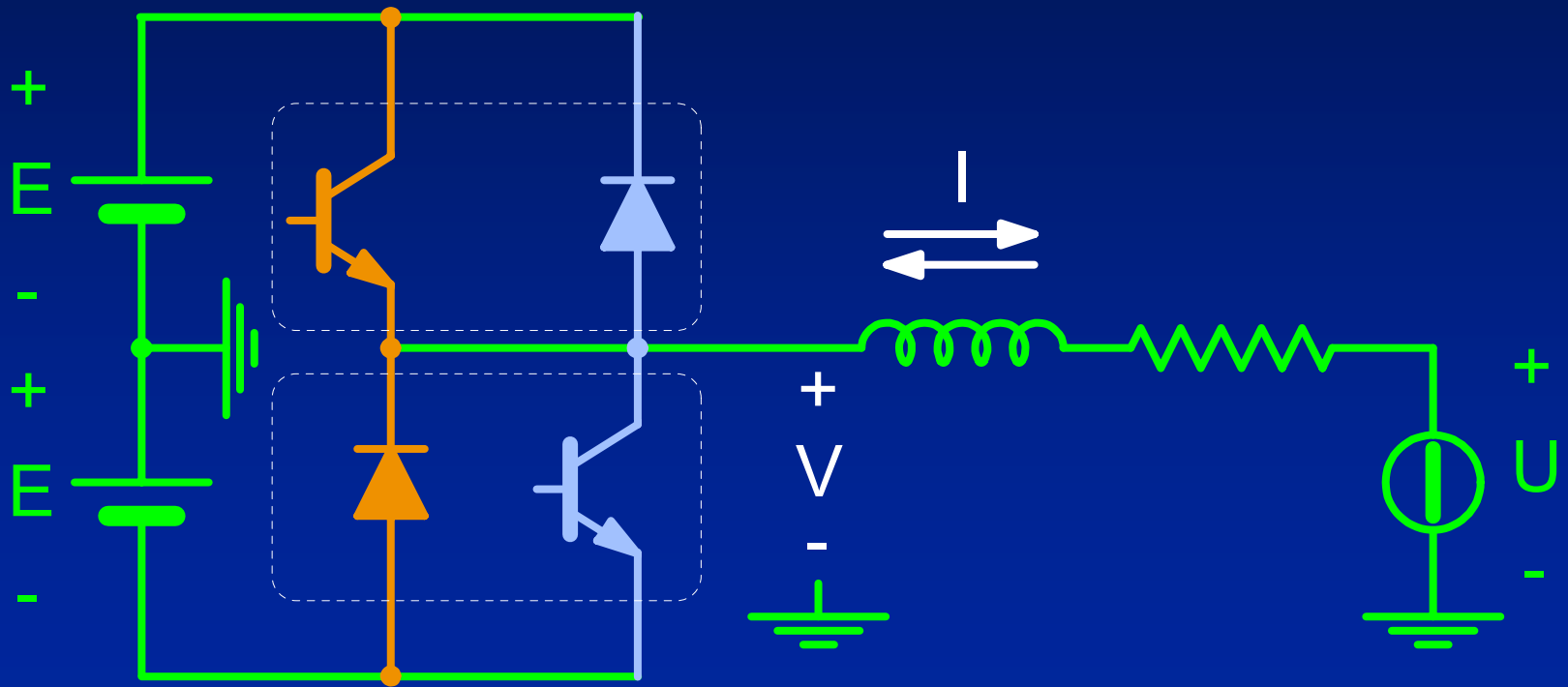
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

Corrente di carico bidirezionale

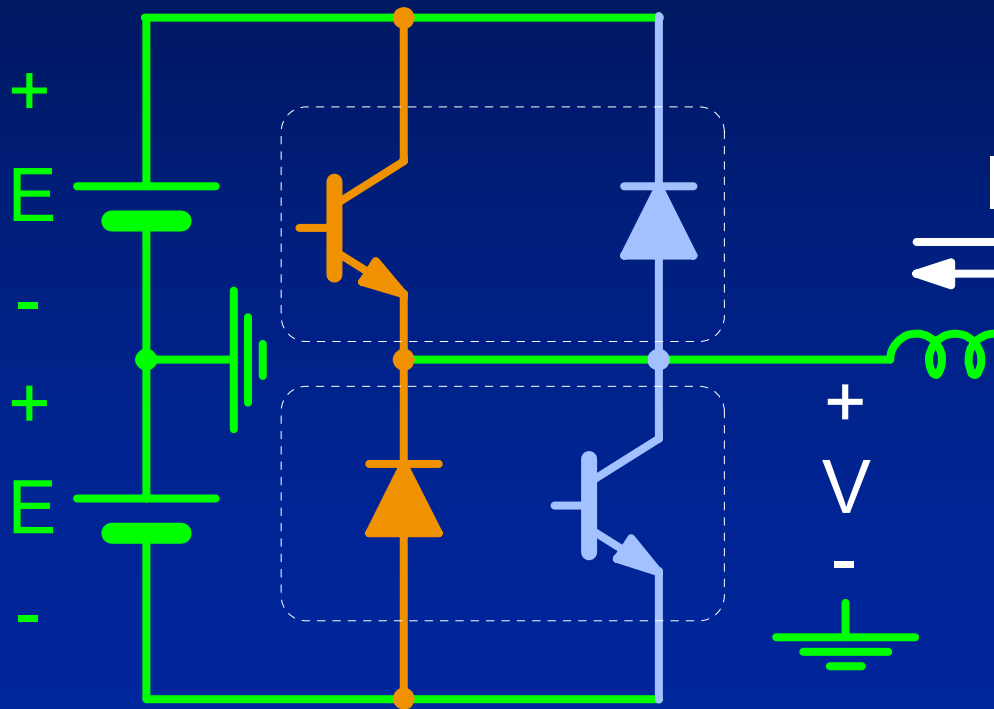
Tensione di uscita negativa



Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli



Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

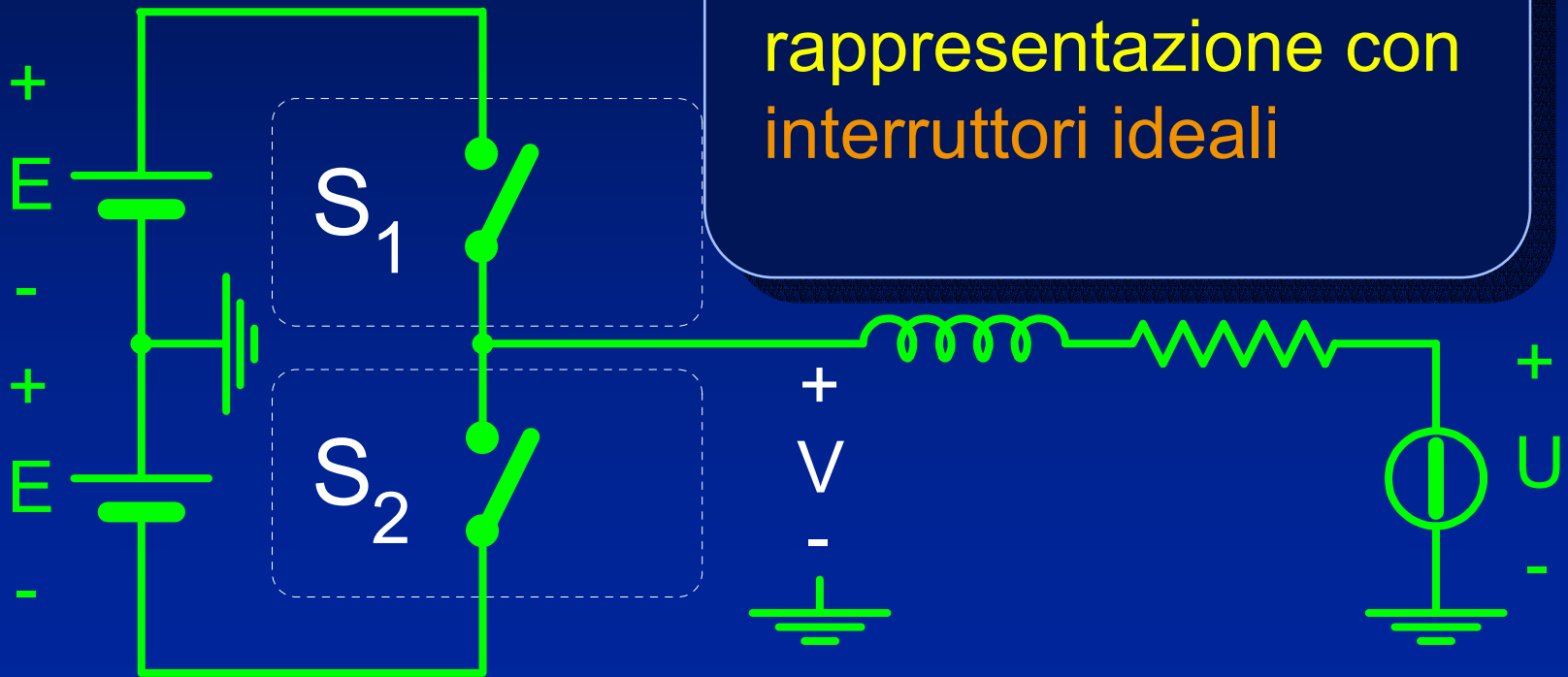


Ciascun transistor con il diodo connesso in parallelo costituisce un interruttore bidirezionale

Modulazione PWM a due livelli:

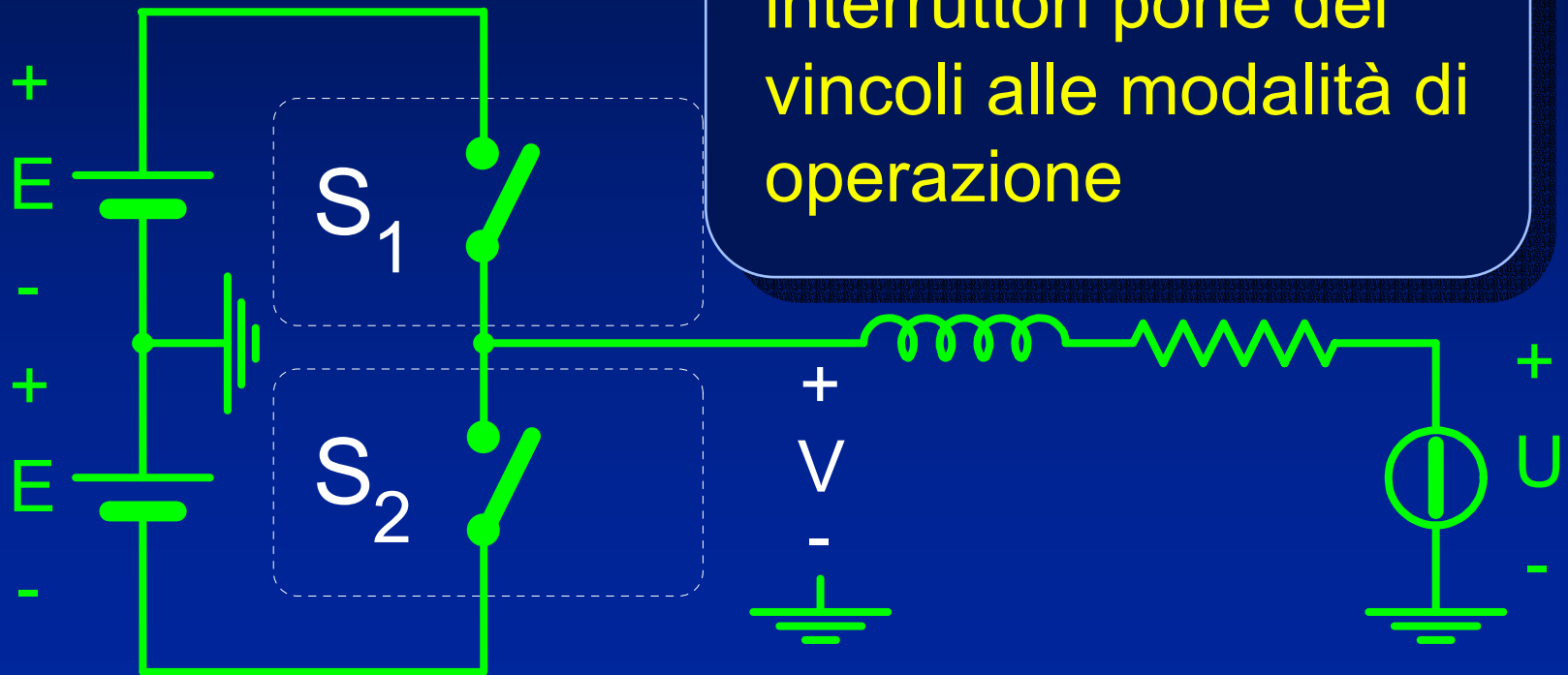
Rappresentazione
con interruttori ideali

Per semplicità si
userà la
rappresentazione con
interruttori ideali



Modulazione PWM a due livelli:

Rappresentazione
con interruttori ideali

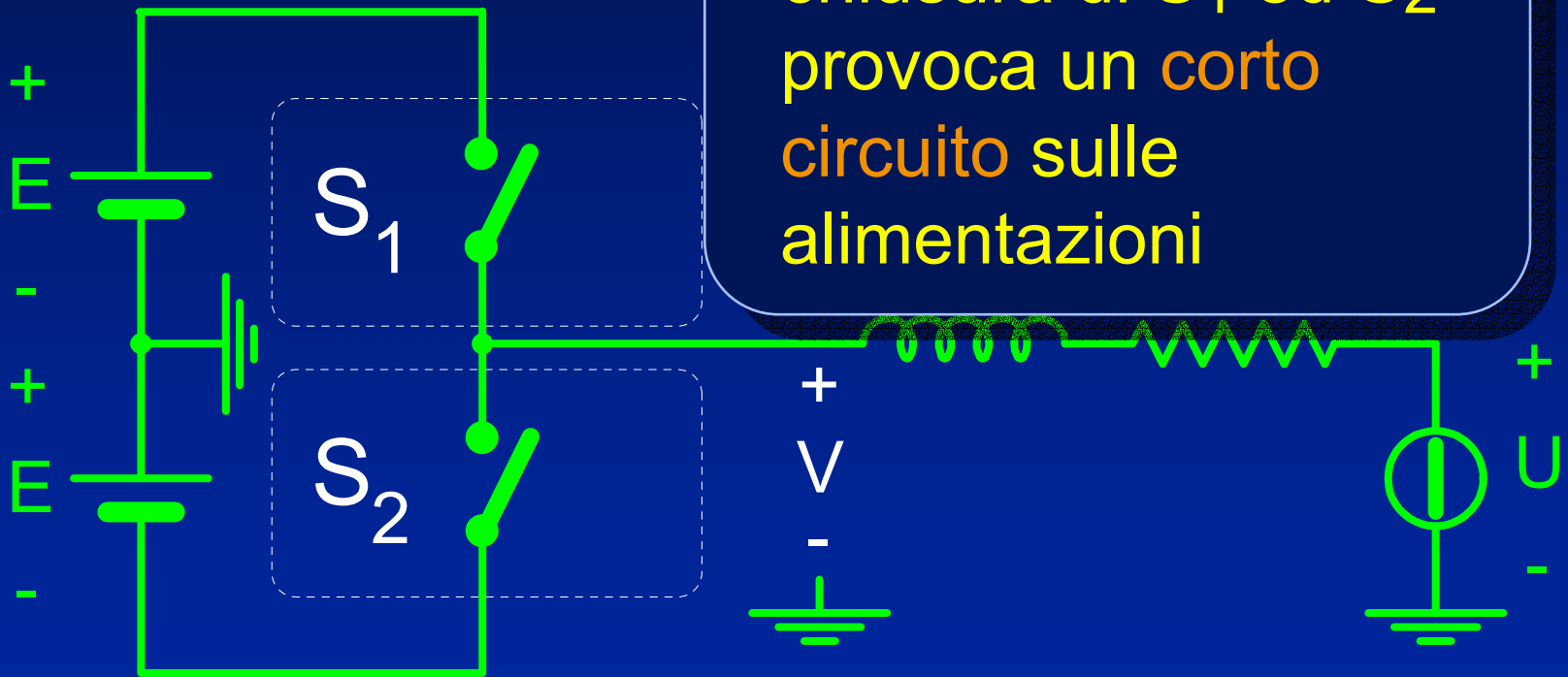


Tuttavia, la reale
struttura degli
interuttori pone dei
vincoli alle modalità di
operazione

Modulazione PWM a due livelli:

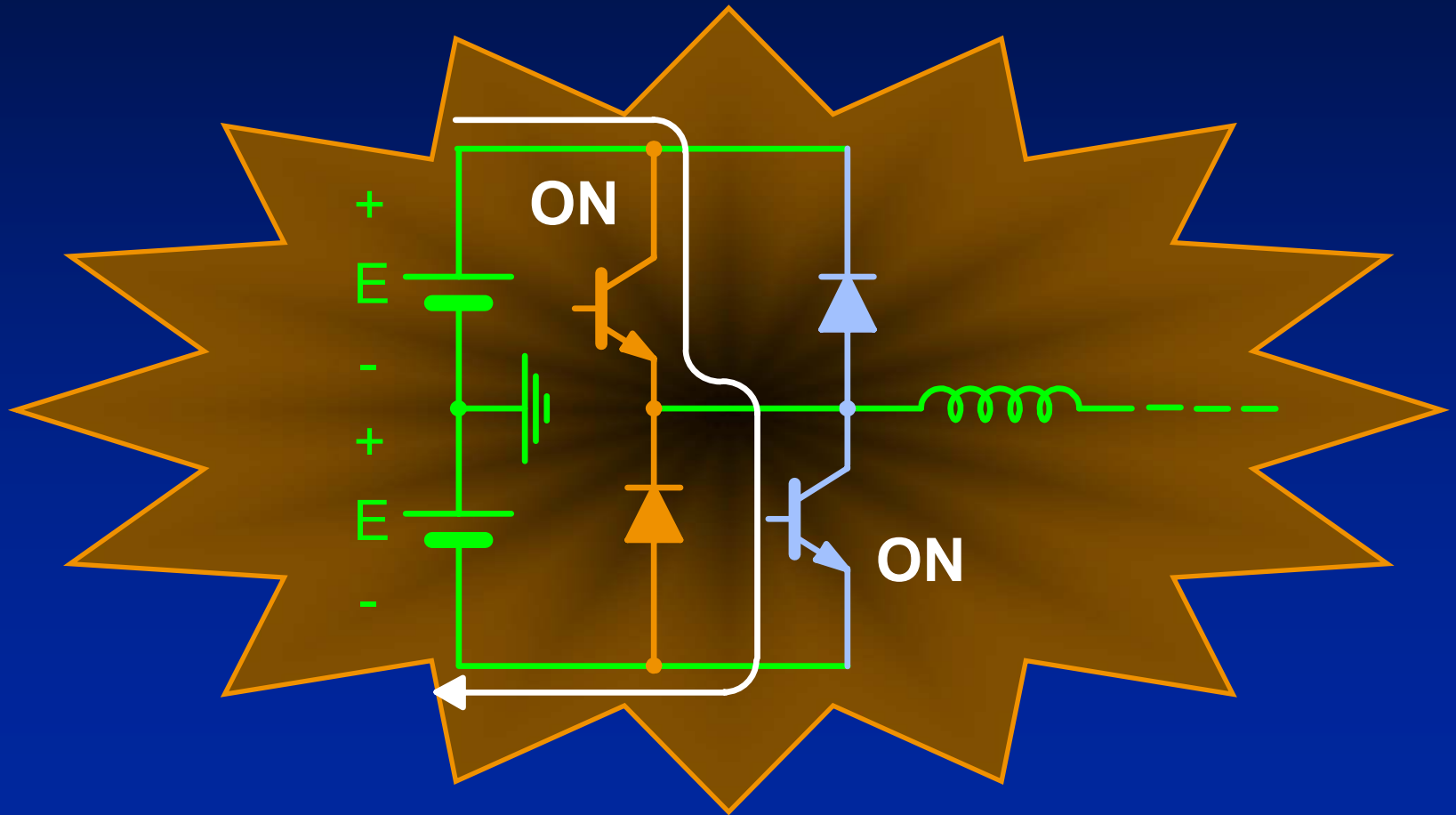
Rappresentazione
con interruttori ideali

Ad esempio, la
contemporanea
chiusura di S_1 ed S_2
provoca un corto
circuitato sulle
alimentazioni



Invertitore di tensione monofase a due livelli

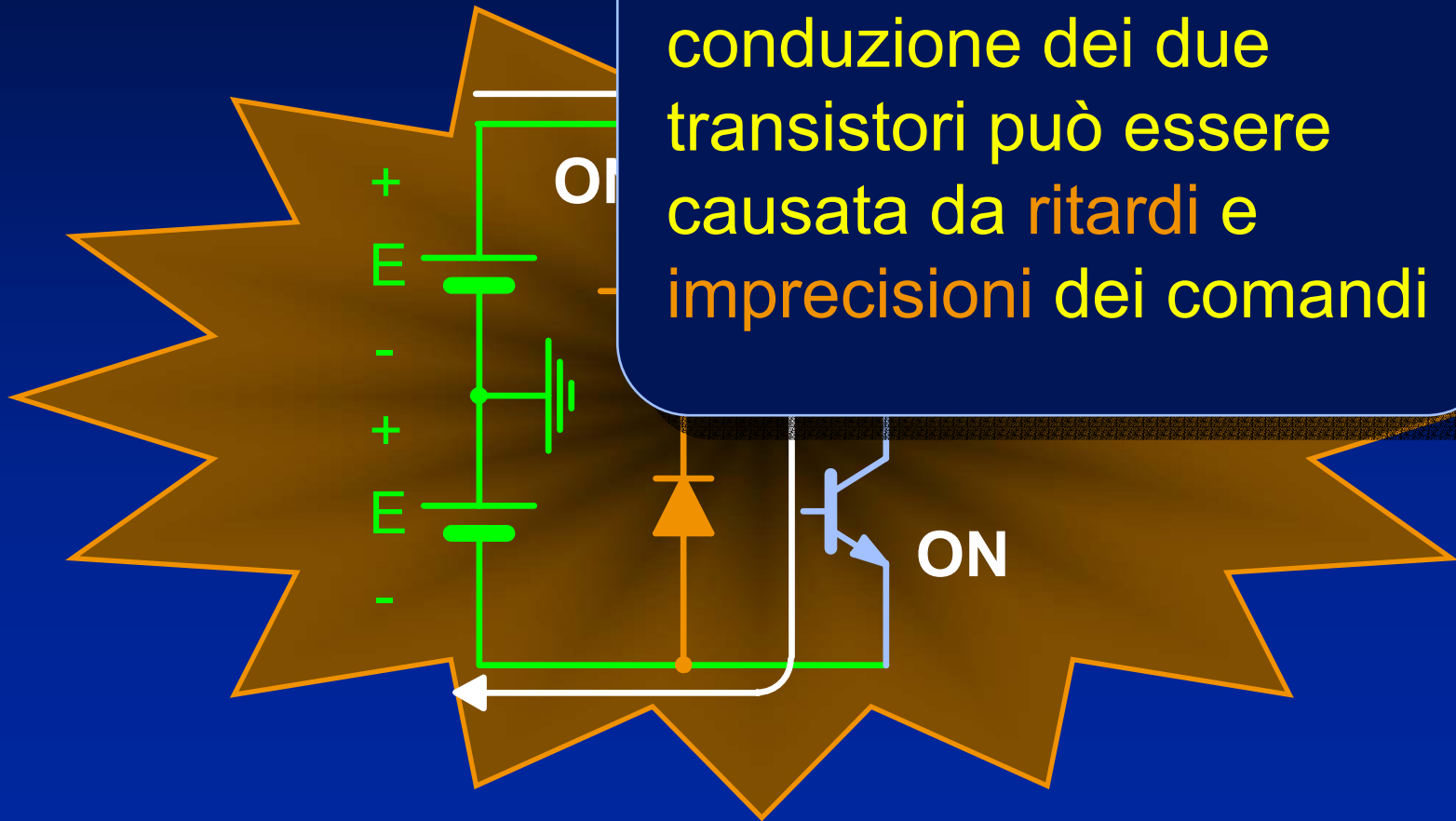
Sovrapposizione di conduzione dei transistor



Invertitore di tensione a semiconduttori a due livelli

Sovrapposizione

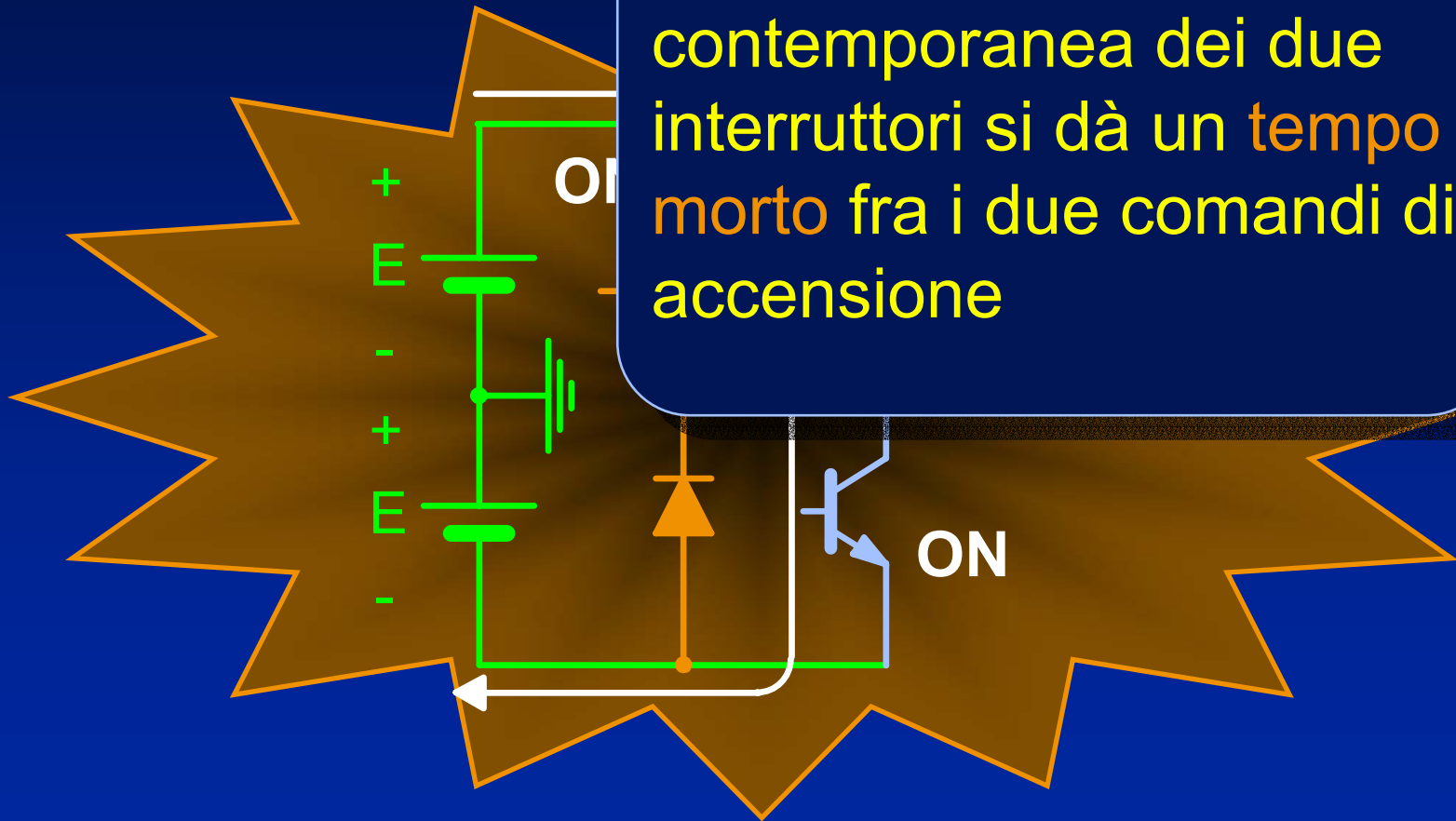
La sovrapposizione della conduzione dei due transistor può essere causata da ritardi e imprecisioni dei comandi



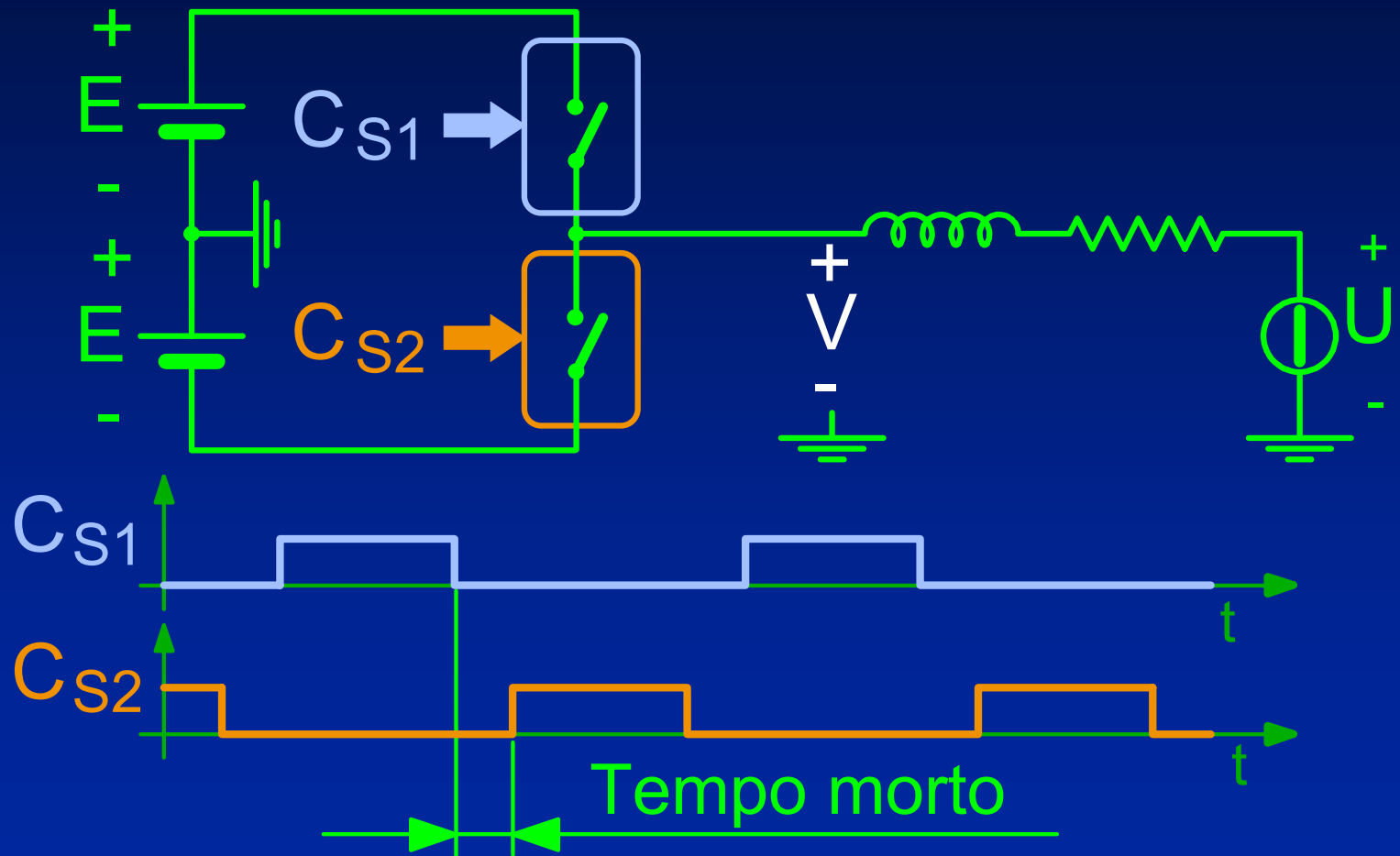
Invertitore di tensione a semiconduttori a due livelli

Sovrapposizione

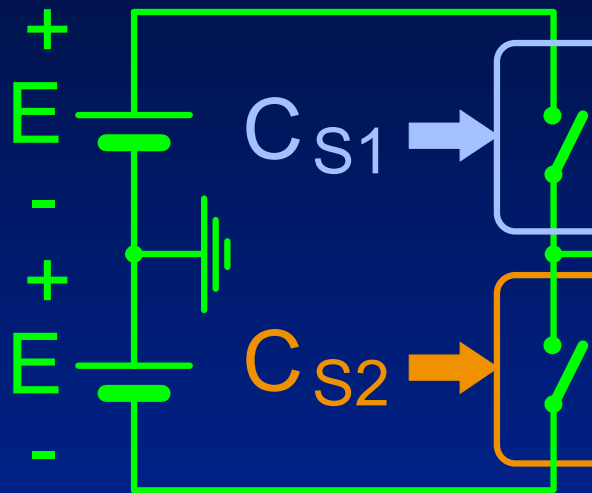
Per evitare la conduzione contemporanea dei due interruptori si dà un **tempo morto** fra i due comandi di accensione



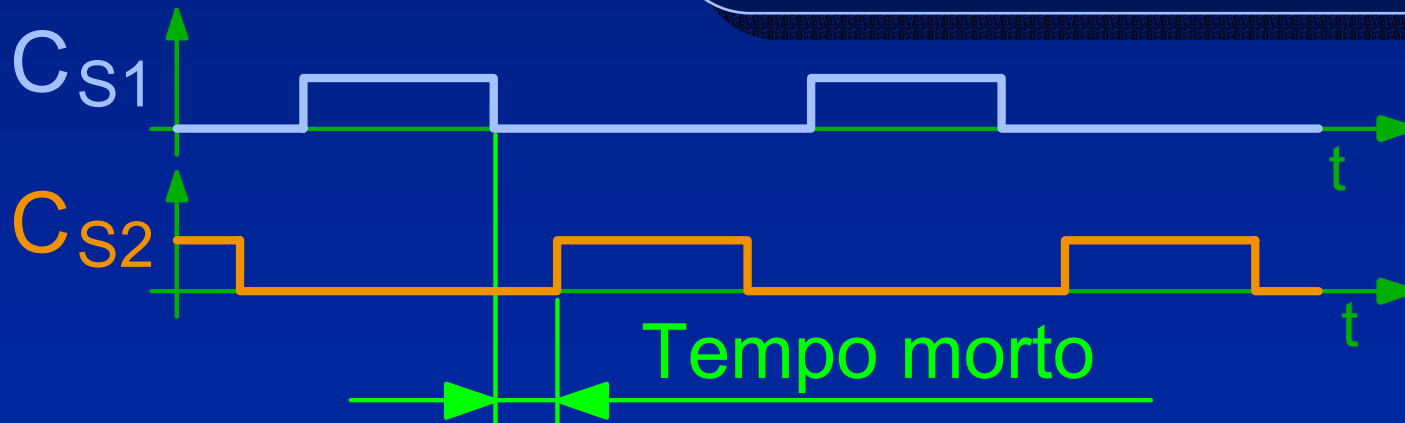
Tempo morto di comando



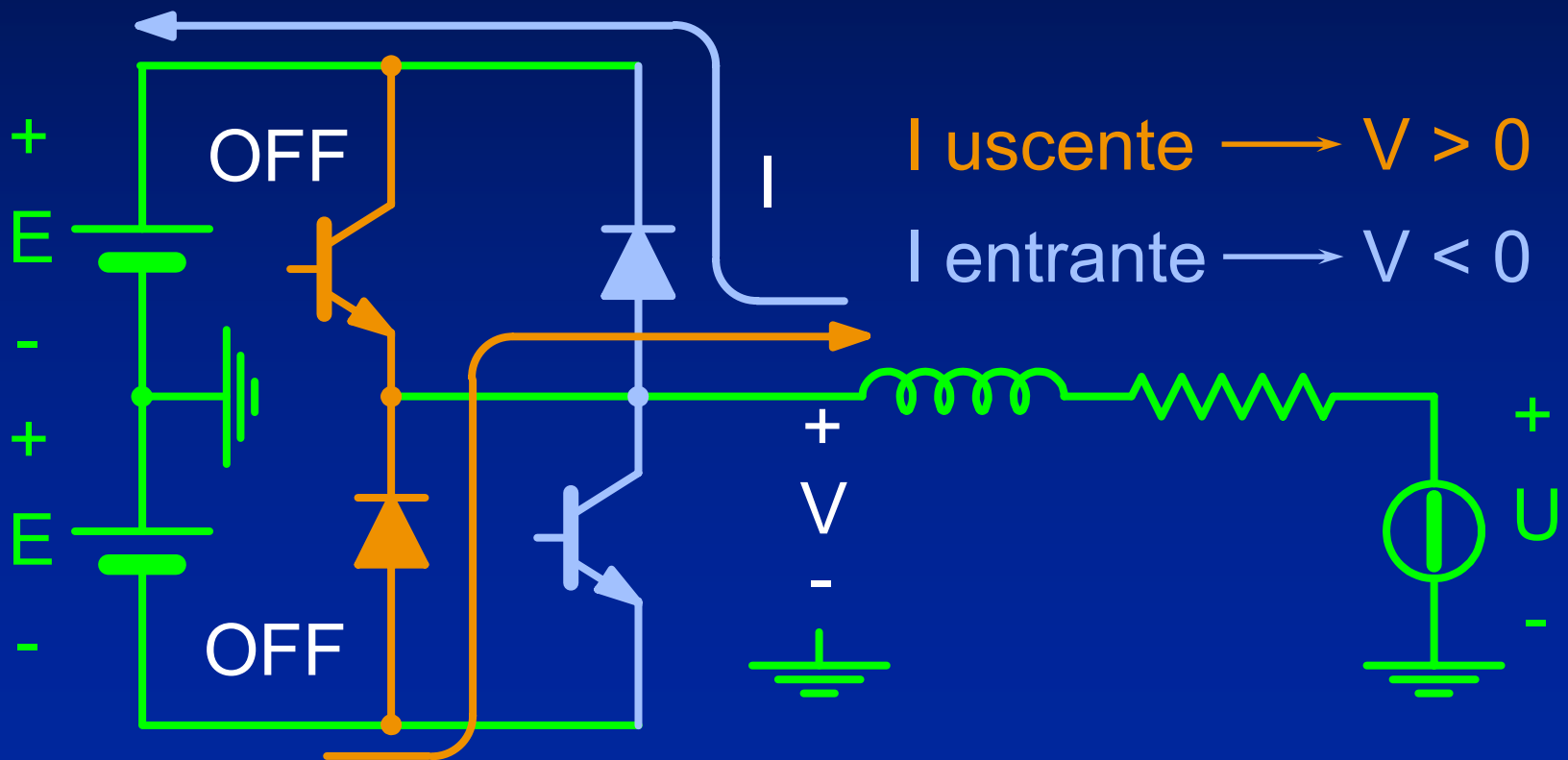
Tempo morto di commutazione



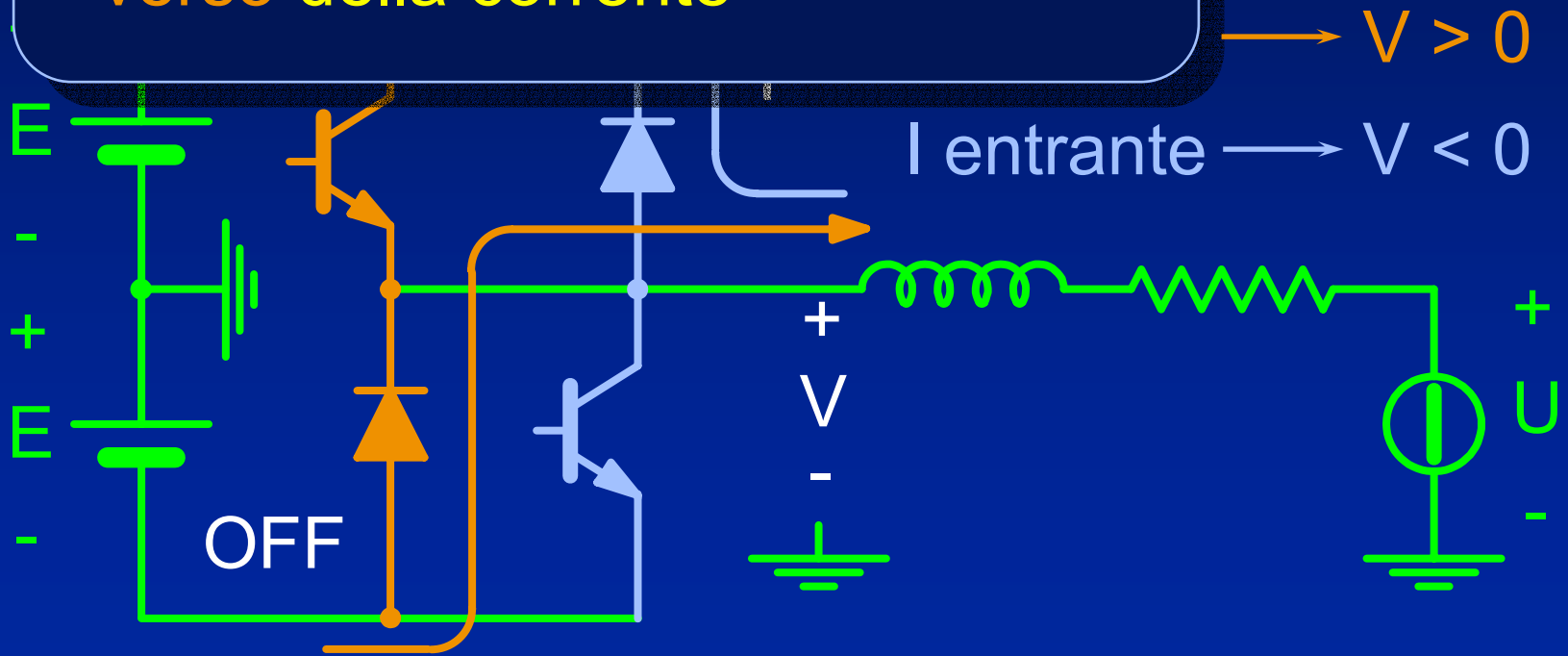
Durante il tempo morto è necessario avere una via di richiusura per la corrente di carico



Conduzione dei diodi durante il tempo morto



La via di richiusura è assicurata
dai diodi in antiparallelo. La
tensione in uscita dipende dal
verso della corrente



Invertitore di tensione monofase a due livelli

Stati dell'invertitore

S_1 ON S_2 OFF $\longrightarrow$ $V = +E$

S_1 OFF S_2 ON $\longrightarrow$ $V = -E$

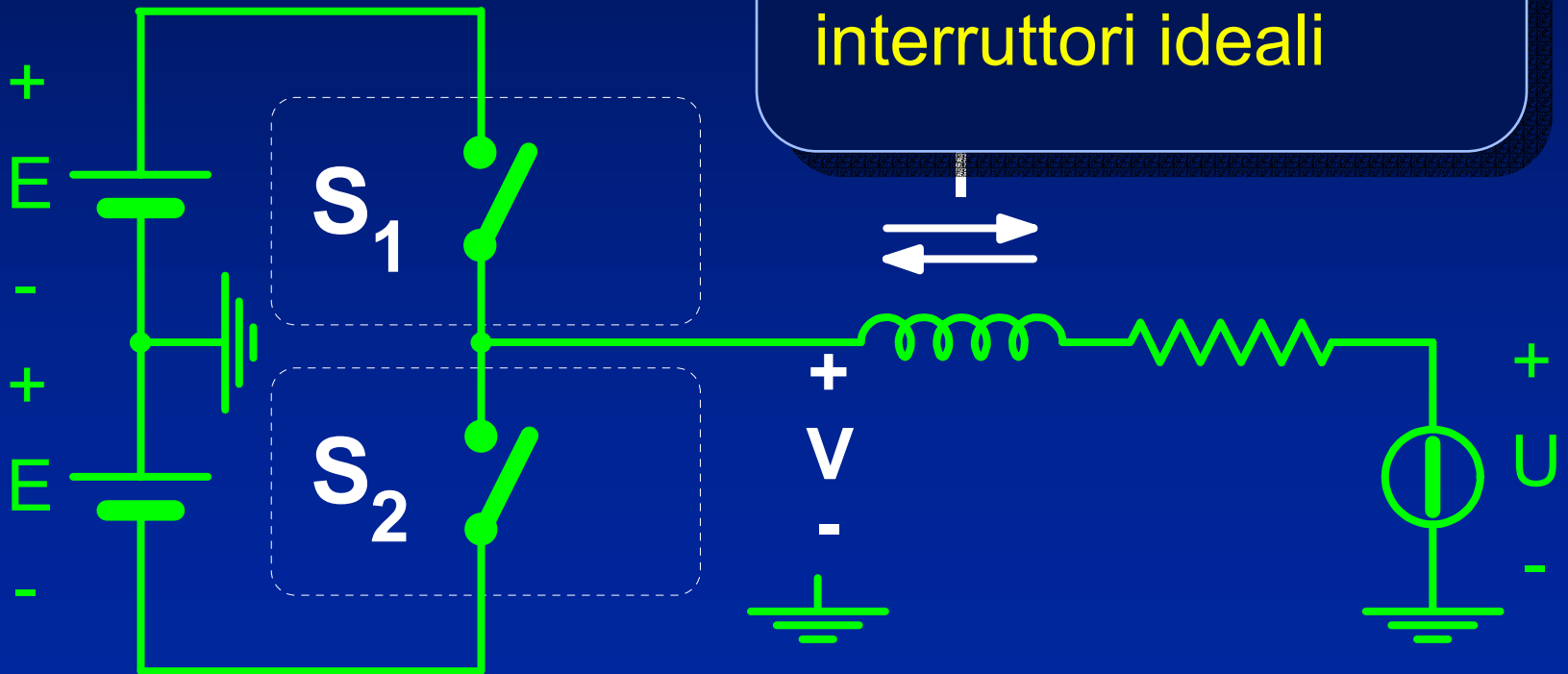
S_1 OFF S_2 OFF $\longrightarrow$ V dipende dal segno di I

S_1 ON S_2 ON $\longrightarrow$ **NON AMMESSA**

Invertitore di tensione a interfaccia a due livelli

Rappresentazione
con interruttori ideali

La modulazione
PWM verrà studiata
con riferimento a
interruttori ideali



Modulazione PWM a due livelli

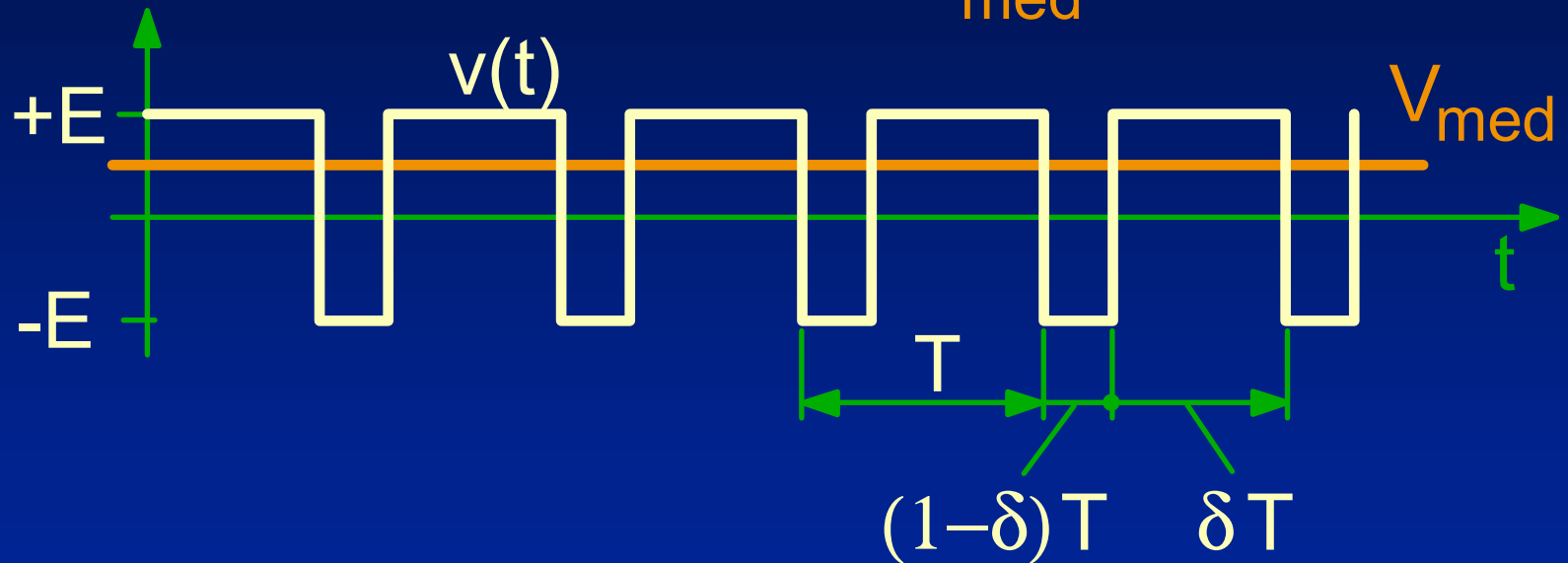
$$\delta > 0.5 \longrightarrow V_{\text{med}} > 0$$



Nella modulazione PWM, variando il duty cycle δ si varia il valore medio della tensione di uscita

Modulazione PWM a due livelli

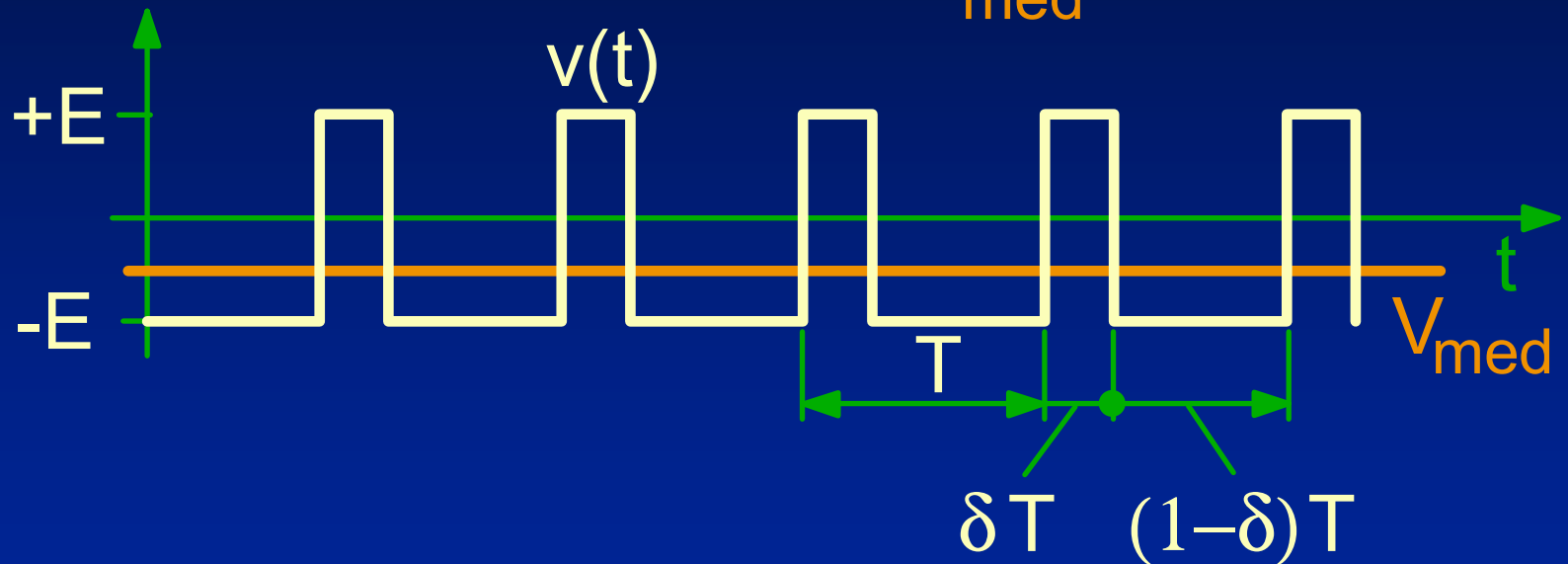
$$\delta > 0.5 \longrightarrow V_{\text{med}} > 0$$



$$V = V_{\text{med}} = (2\delta - 1)E$$

Modulazione PWM a due livelli

$$\delta < 0.5 \longrightarrow V_{\text{med}} < 0$$



$$V = V_{\text{med}} = (2\delta - 1)E$$

Modulazione PWM a due livelli

Nel complesso, variazioni del “duty cycle” (fattore di utilizzazione) δ da 0 a 1 generano una tensione media di uscita V variabile fra $-E$ e $+E$

$$V = V_{\text{med}} = (2\delta - 1)E$$

Si ottiene $V=0$ con $\delta = 0.5$

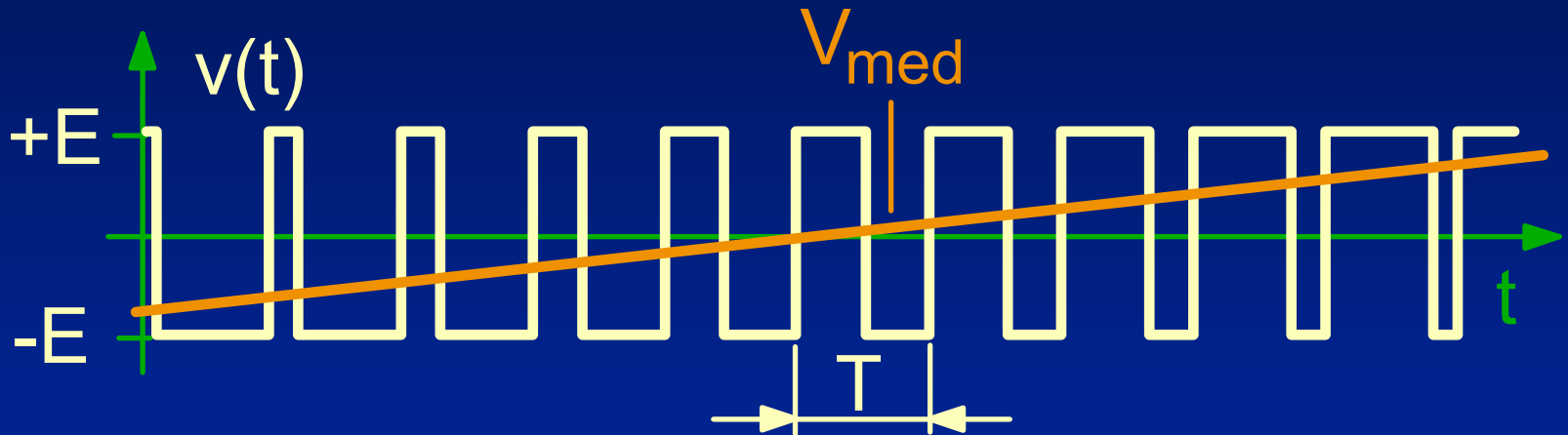
Modulazione PWM a due livelli

La PWM consente di far seguire a V_{med} una forma d'onda V^* assegnata, mediante variazioni nel tempo del valore di δ :

$$V = V_{med} = (2 \delta(t) - 1) E$$

Modulazione PWM a due livelli

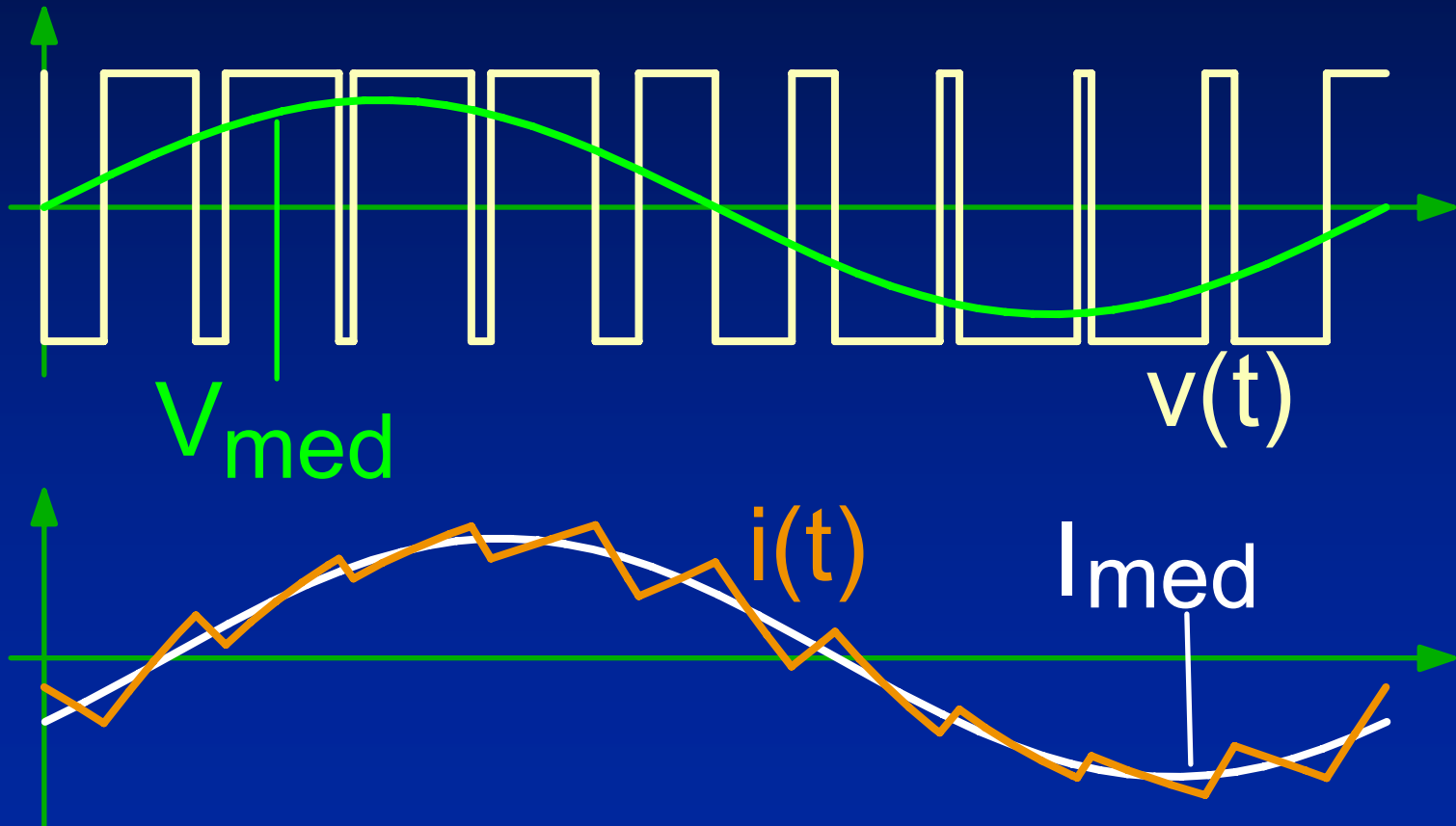
Tensione di uscita variabile



$$V = V_{med} = (2 \delta(t) - 1) E$$

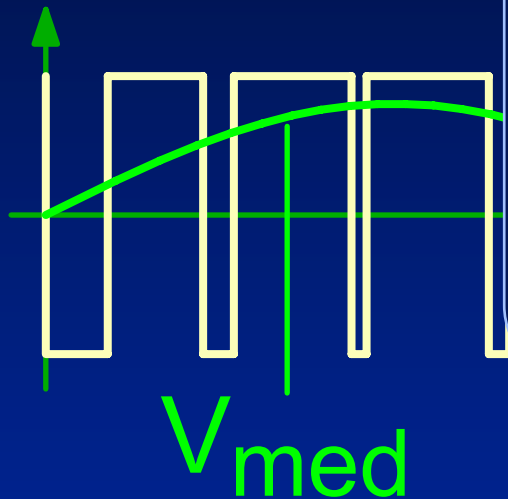
Modulazione PWM a due livelli

Forma d'onda sinusoidale

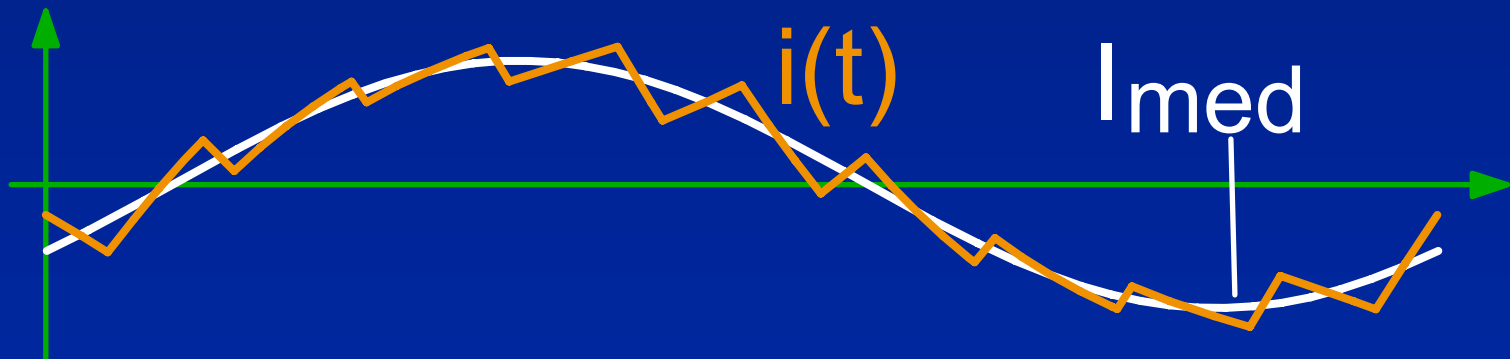


Modulazi

Form

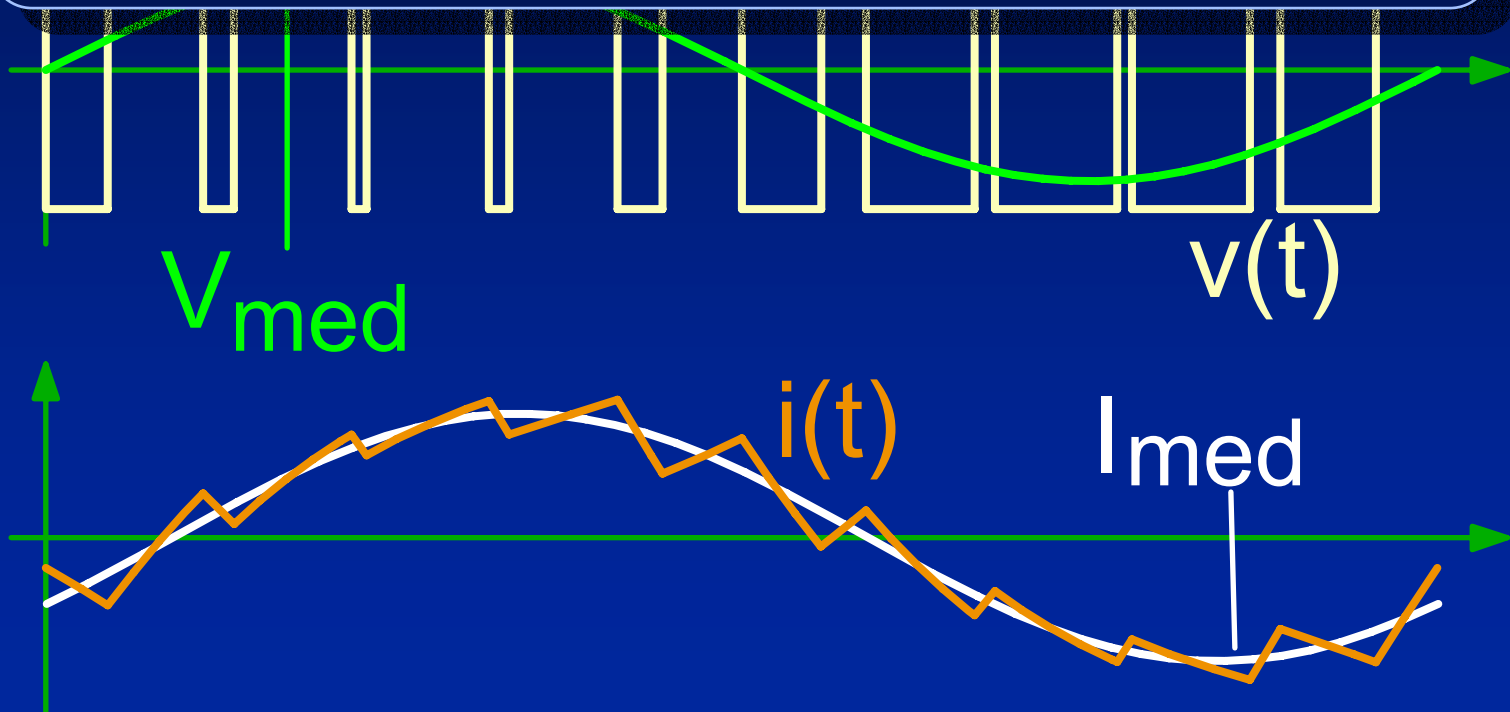


V_{med} e I_{med} sono definite come le medie in un periodo di modulazione dei valori istantanei di tensione $v(t)$ e di corrente $i(t)$



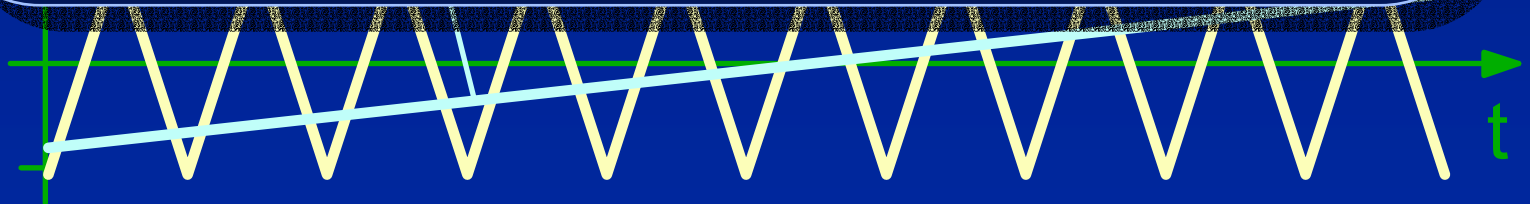
Modulazione PWM a due livelli

L'ondulazione di corrente intorno a I_{med} è ridotta dall'azione filtrante del carico



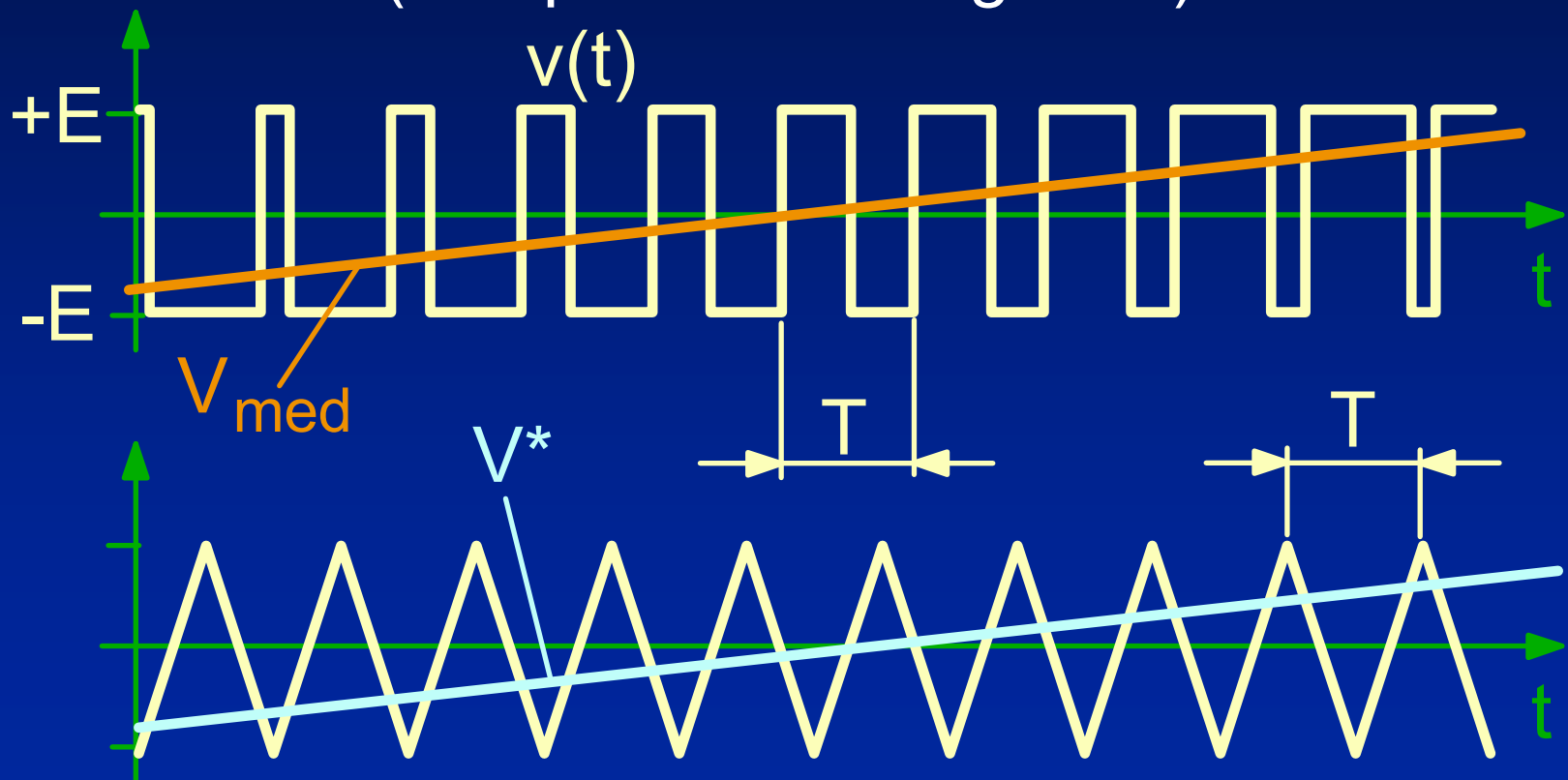
Modulazione PWM a due livelli

La generazione dei segnali di comando con il duty cycle $\delta(t)$ corrispondente ad una forma d'onda di riferimento V^* può essere fatta per via analogica o per via digitale



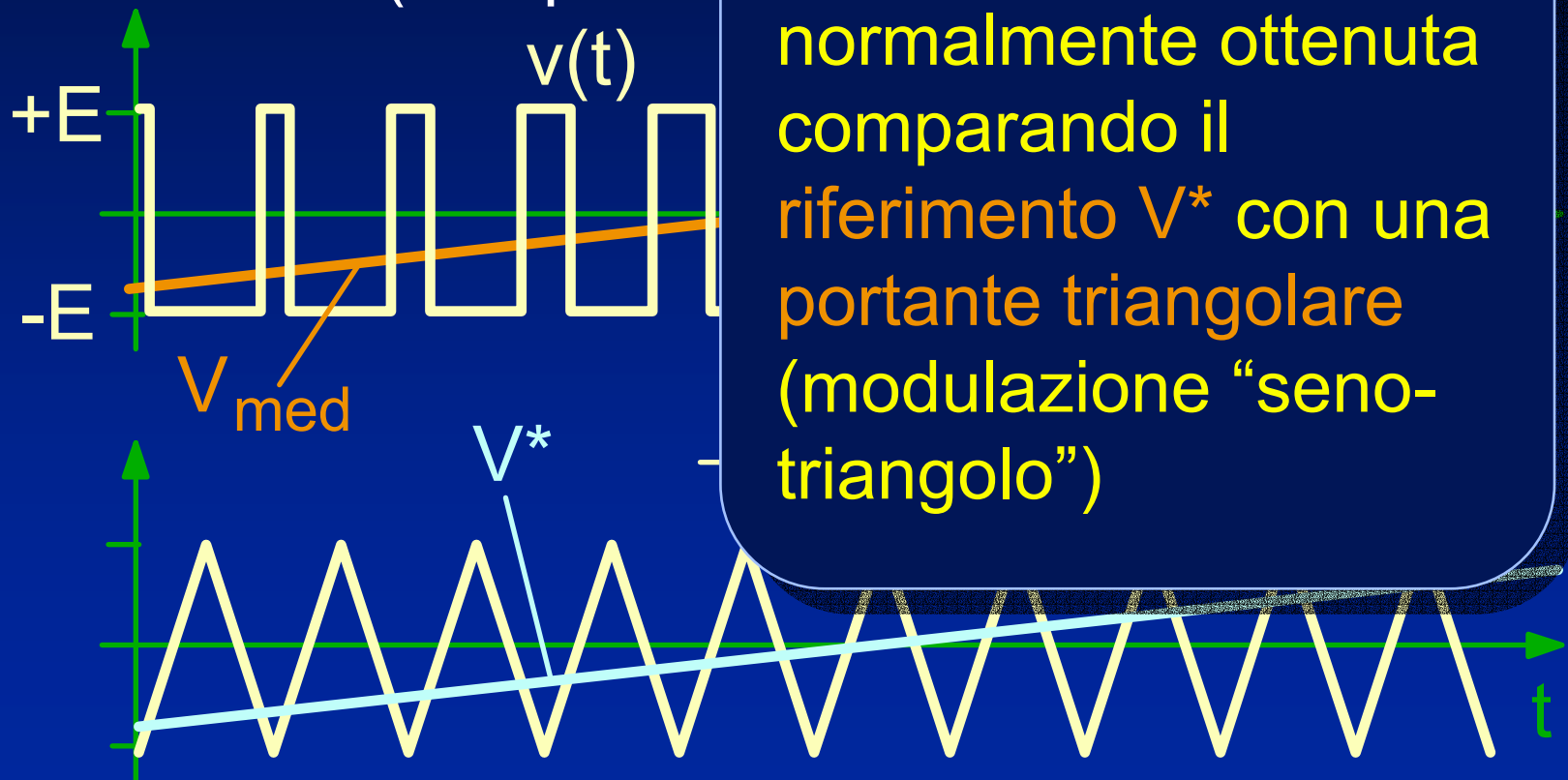
Modulazione PWM a due livelli

Modulazione analogica
(con portante triangolare)



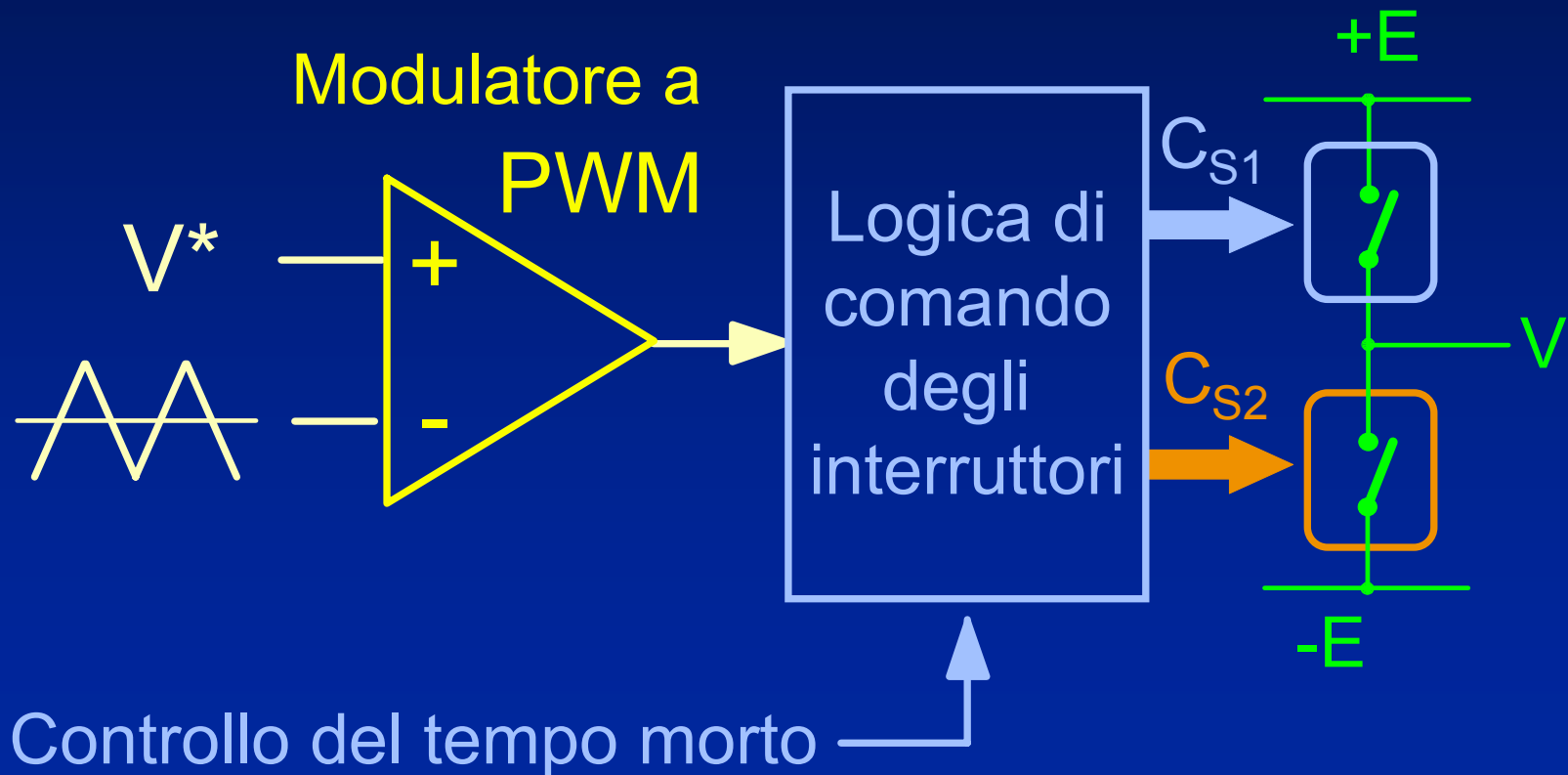
Modulazione PWM

Modulazione
(con portante



Modulazione PWM a due livelli

Modulazione analogica: schema a blocchi



Mod
Modu

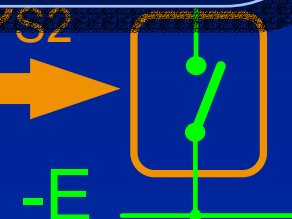
La modulazione digitale **calcola direttamente** gli istanti di commutazione, e quindi le durate di conduzione degli interruttori, a partire dalla forma d'onda di riferimento, di solito **memorizzata in forma numerica**

Amp.
di V^*

Freq.
di V^*

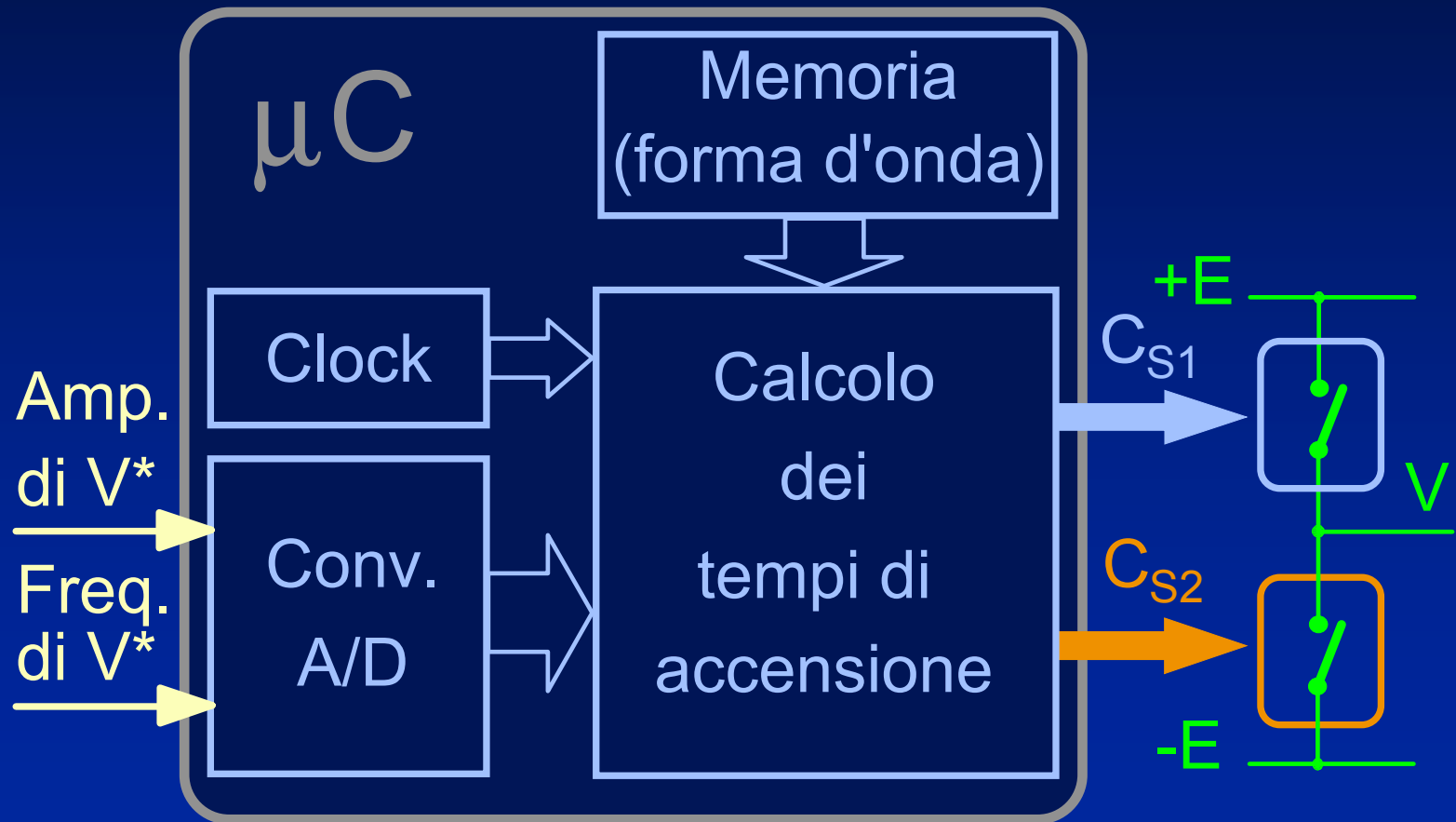
Cor
A/D

tempi di
accensione



Modulazione PWM a due livelli

Modulazione digitale a microcontrollore



Modulazione PWM a due livelli

L'utilizzo di microcontrollori o di circuiti integrati dedicati (**ASIC**) consente una realizzazione compatta del controllo digitale

Modulazione PWM a due livelli

L'utilizzo di microcontrollori o di circuiti integrati dedicati (ASIC) consente una realizzazione compatta del controllo digitale

Secondo la tendenza attuale, si preferisce il controllo digitale per la sua affidabilità, per l'assenza di procedure di taratura e per la facilità di aggiornare il controllo senza modificare il circuito

Modulazione ad onda quadra

Quando la frequenza di modulazione diventa prossima a quella della V^* da generare (pochi impulsi per periodo) il filtraggio del carico si riduce e la forma d'onda della corrente è molto distorta

Modulazione ad onda quadra

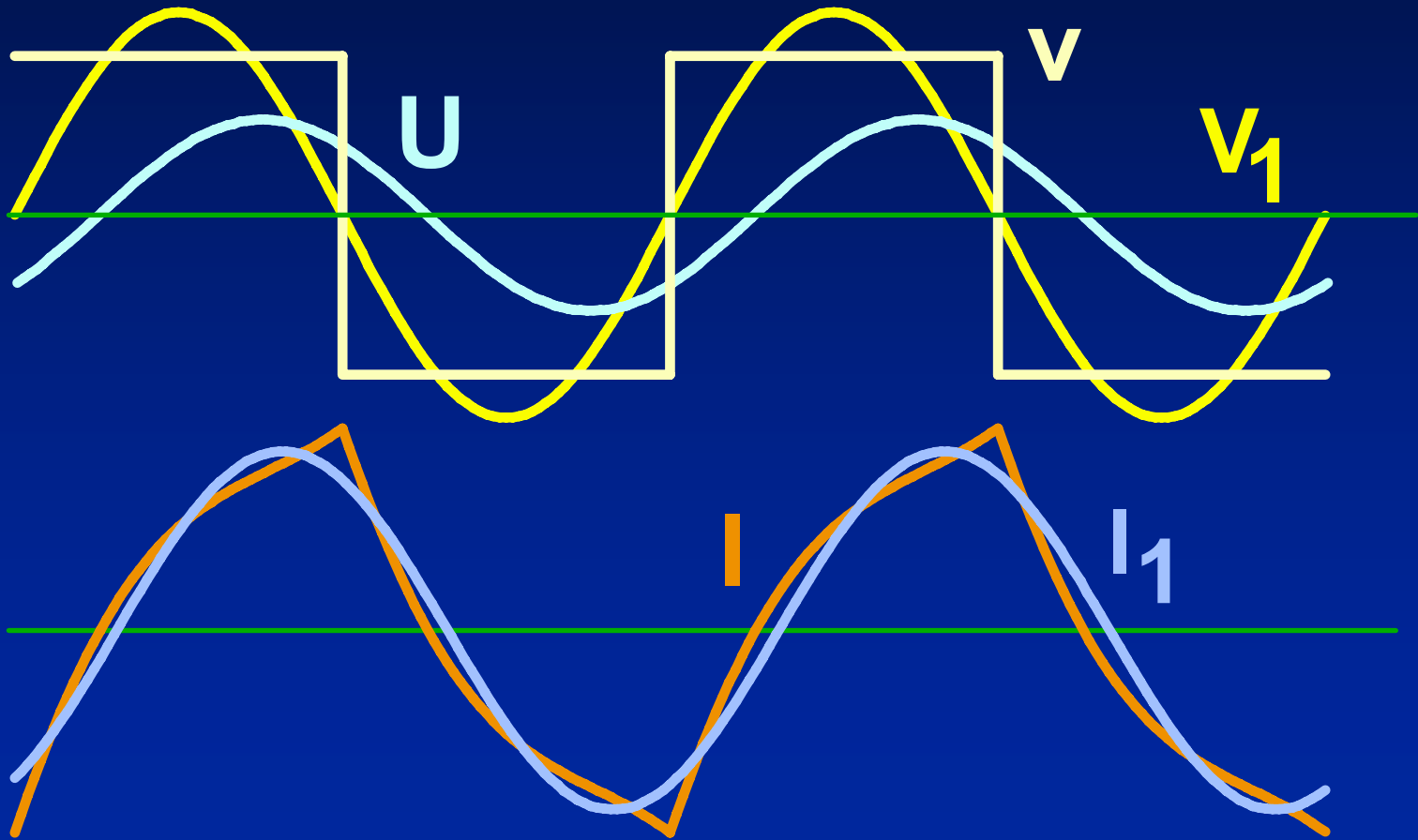
Quando la frequenza di modulazione diventa prossima a quella della V^* da generare (pochi impulsi per periodo) il filtraggio del carico si riduce e la forma d'onda della corrente è molto distorta

In alcuni casi le deformazioni sono accettabili. La PWM può consentire ancora di regolare l'ampiezza della componente fondamentale della tensione

Modulazione ad onda quadra

Con un solo impulso per periodo (**modulazione ad onda quadra**) l'ampiezza della componente fondamentale della tensione generata è fissa e se ne può regolare soltanto la frequenza

Modulazione ad onda quadra



Componenti attivi usati negli invertitori

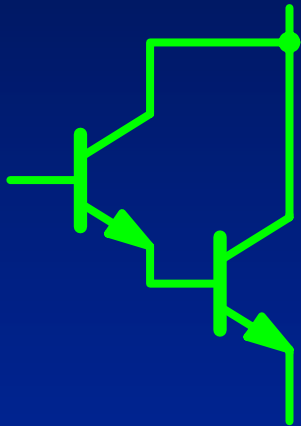
Gli invertitori attuali usano componenti controllati in spegnimento

Componenti attivi usati negli invertitori

Gli invertitori attuali usano componenti controllati in spegnimento

Solo per grossissime potenze e in vecchie costruzioni sono ancora usati invertitori a SCR

Componenti attivi usati negli invertitori



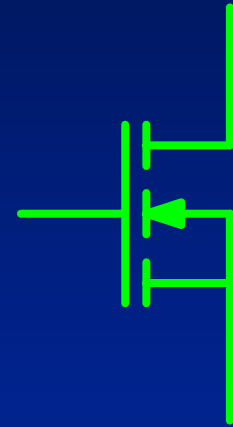
Darlington



IGBT



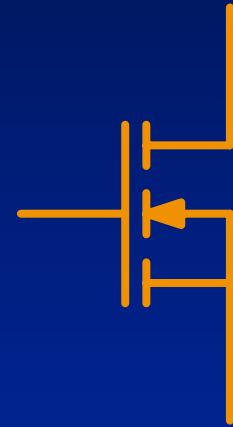
GTO



MOSFET

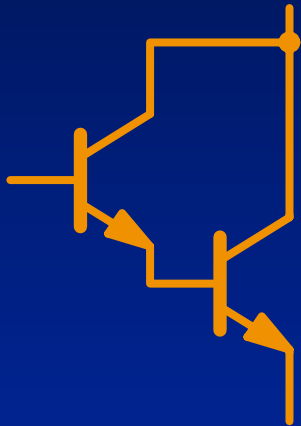
Componenti attivi usati negli invertitori

I MOSFET sono quasi esclusivamente usati per piccole potenze, elevate frequenze di commutazione ed applicazioni economiche alimentate dalla rete a 220V



O MOSFET

Componenti attivi usati negli invertitori



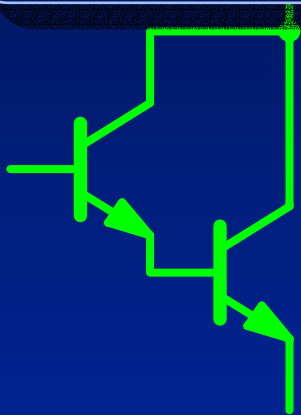
Darlington



IGBT

I transistori
darlington di
potenza sono
stati quasi
completamente
soppiantati
dagli IGBT

Per le potenze medie/grandi (10-200 kW)
si usano prevalentemente IGBT



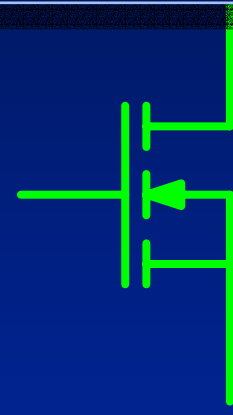
Darlington



IGBT



GTO



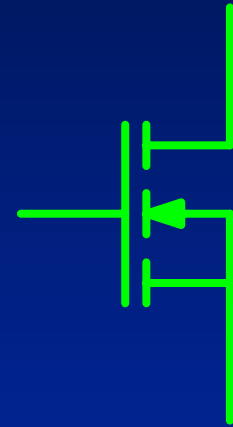
MOSFET

Componenti attivi usati negli invertitori

I **GTO** sono SCR dotati di capacità di spegnimento. Si usano normalmente per grandi/grandissime potenze (molti MW)



GTO



MOSFET

Componenti attivi usati negli invertitori

In applicazioni di media potenza si usano spesso moduli comprendenti una o più unità IGBT-DIODO già connessi secondo gli schemi degli invertitori

Componenti attivi usati negli invertitori

In applicazioni di media potenza si usano spesso moduli comprendenti una o più unità IGBT-DIODO già connessi secondo gli schemi degli invertitori

Si stanno presentando sul mercato moduli comprendenti anche la circuiteria di comando, che sono convenienti sia dal punto di vista della facilità di realizzazione sia per la maggiore affidabilità

Componenti attivi usati negli invertitori

In applicazioni di media potenza si usano spesso moduli comprendenti una o più unità IGBT-DIODO già connessi secondo gli schemi degli invertitori

Si stanno presentando sul mercato moduli comprendenti anche la circuiteria di comando, che sono convenienti sia dal punto di vista della facilità di realizzazione sia per la maggiore affidabilità

Come alternativa ai GTO sono in fase di sviluppo IGBT adatti all'impiego fino a qualche MW