

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

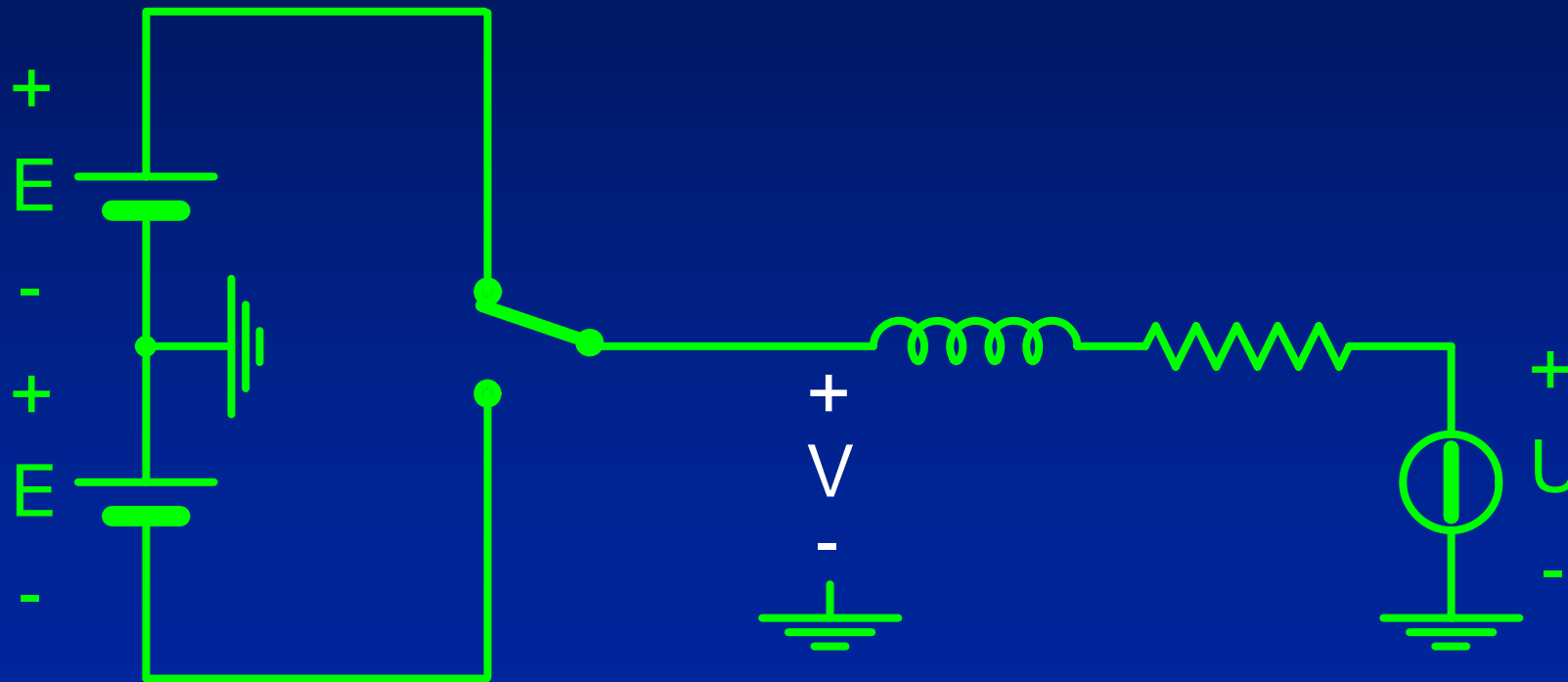
- Struttura e funzionamento dell'invertitore monofase di tensione a due livelli
- Metodi di modulazione a PWM analogici e digitali
- Modulazioni a bassa frequenza di portante e ad onda quadra

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



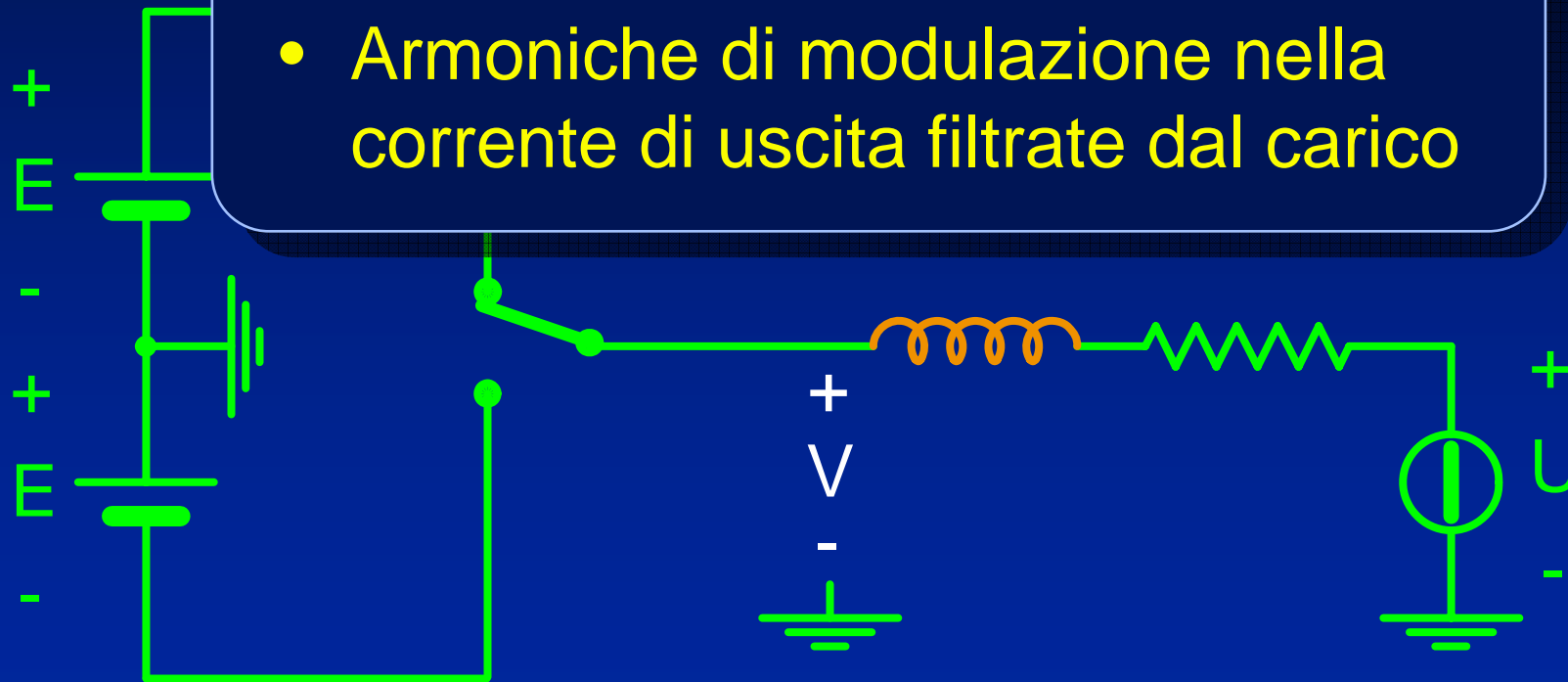
Invertitor Gene

- 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

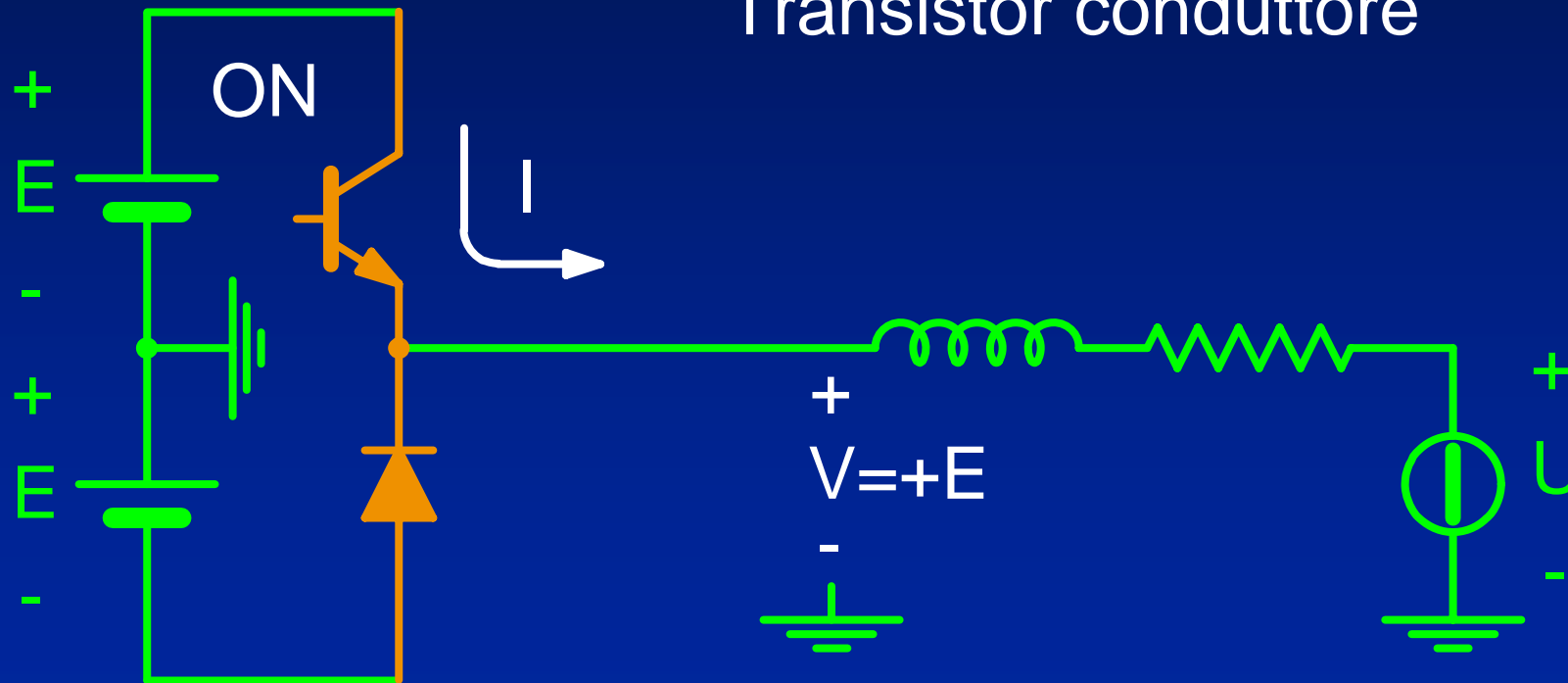
Ge

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



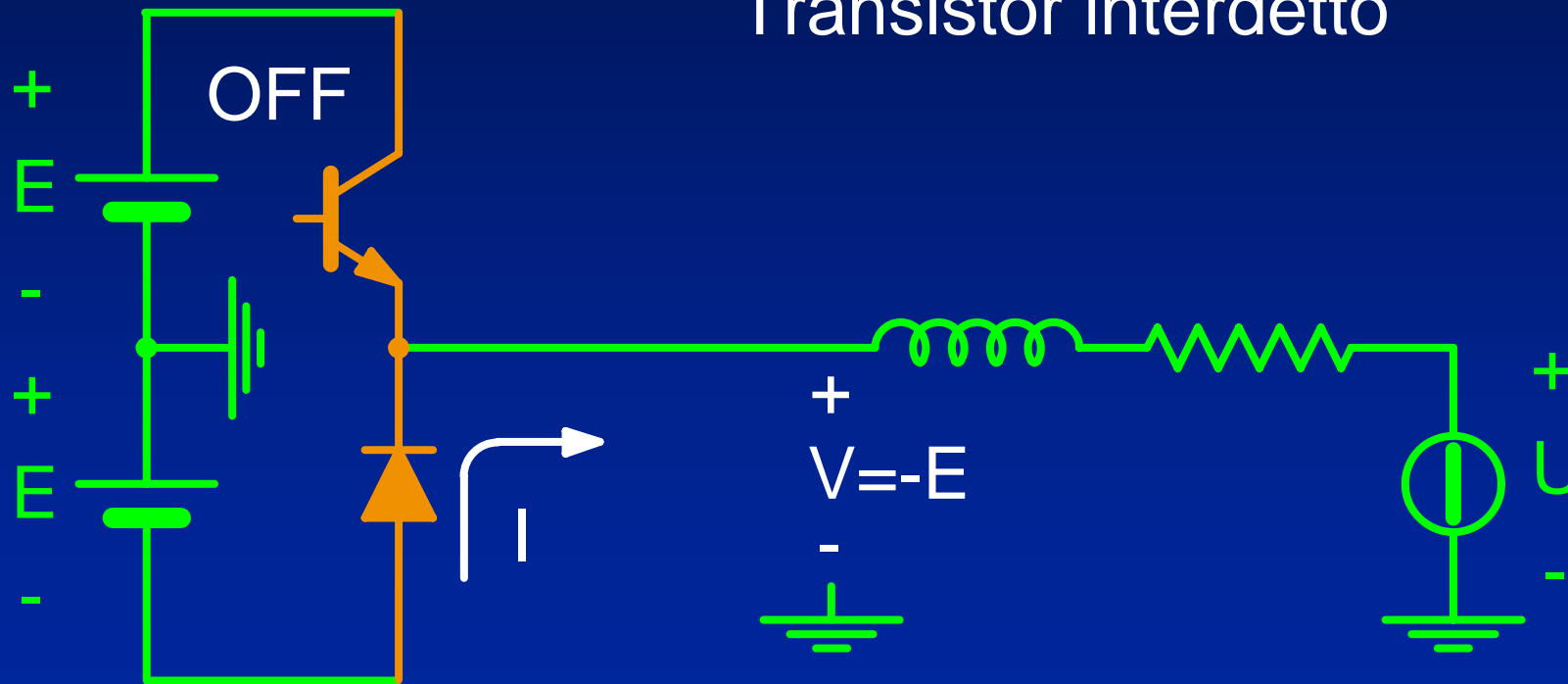
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A) Corrente di carico uscente
Transistor conduttore



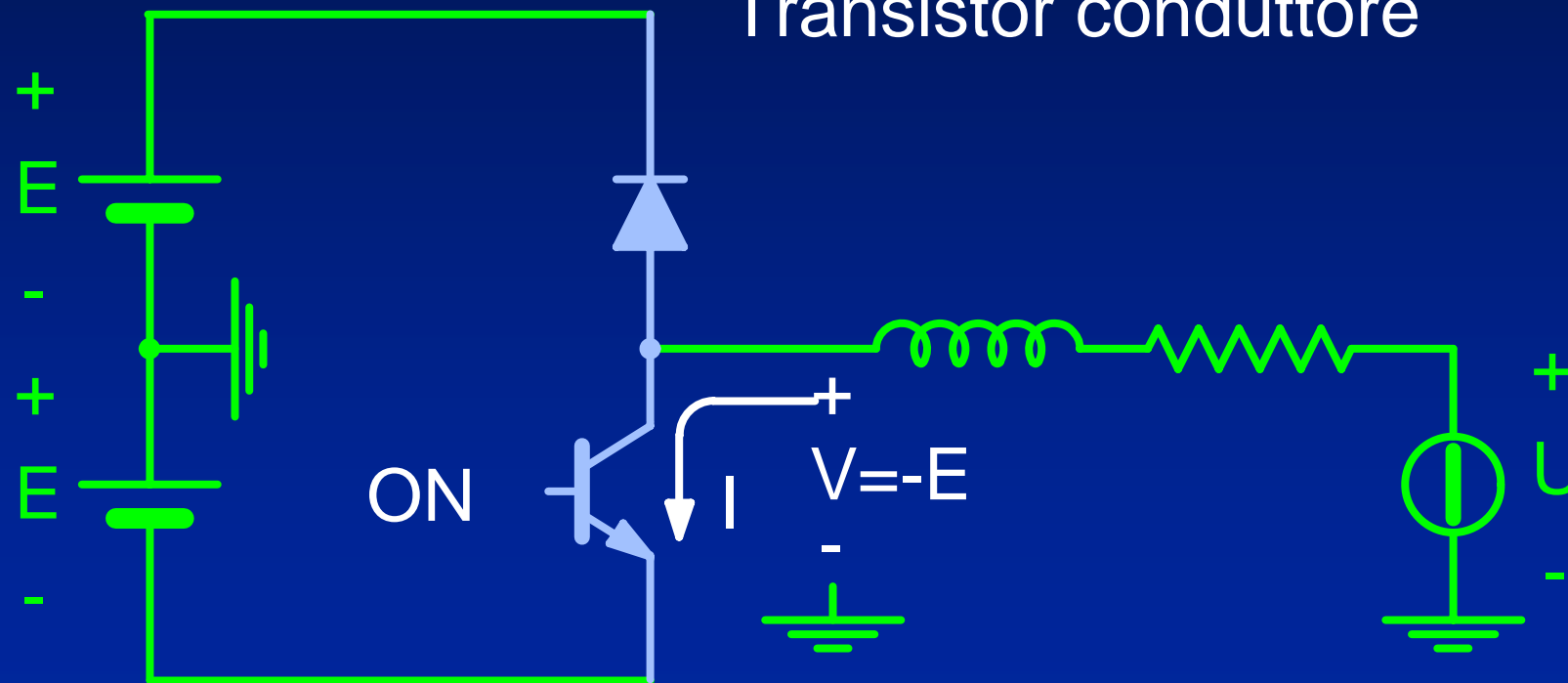
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A) Corrente di carico uscente
Transistor interdetto



Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

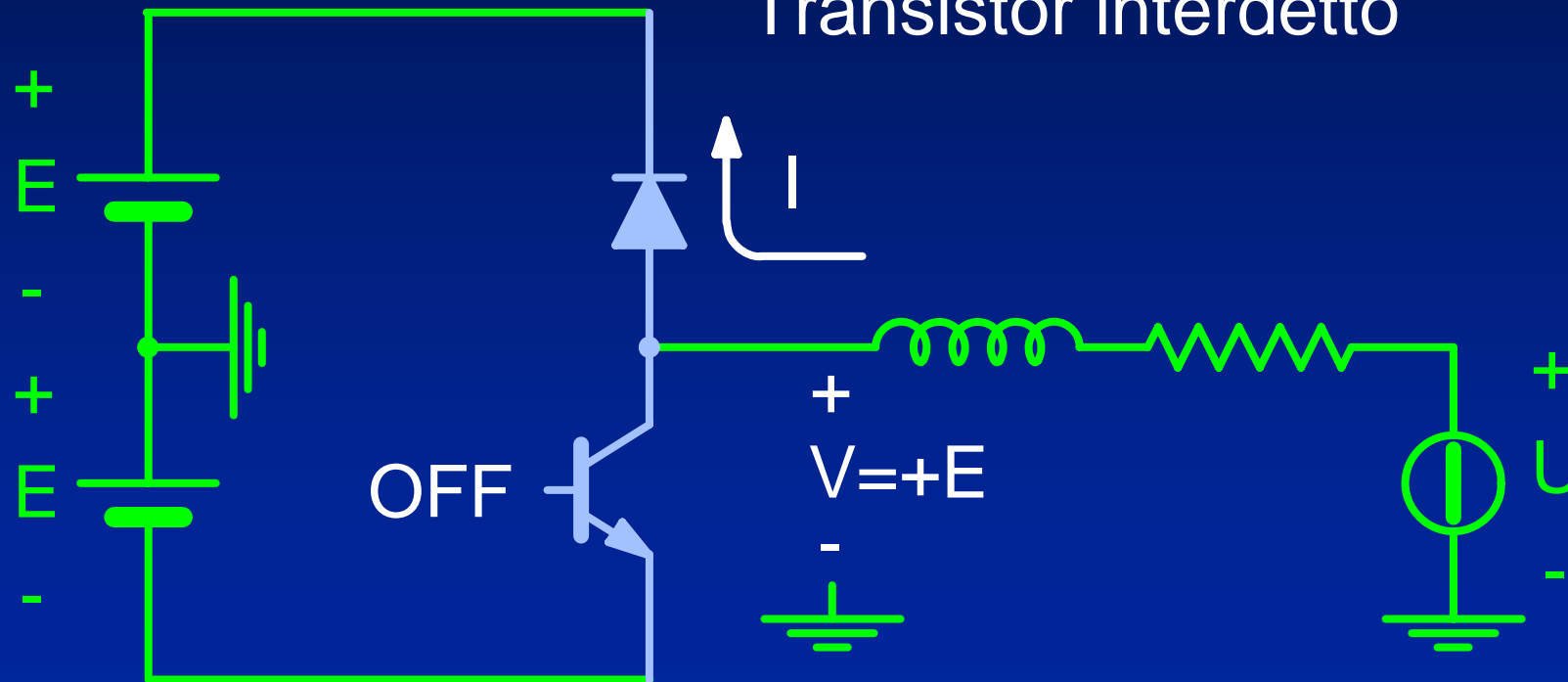
(B) Corrente di carico entrante
Transistor conduttore



Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

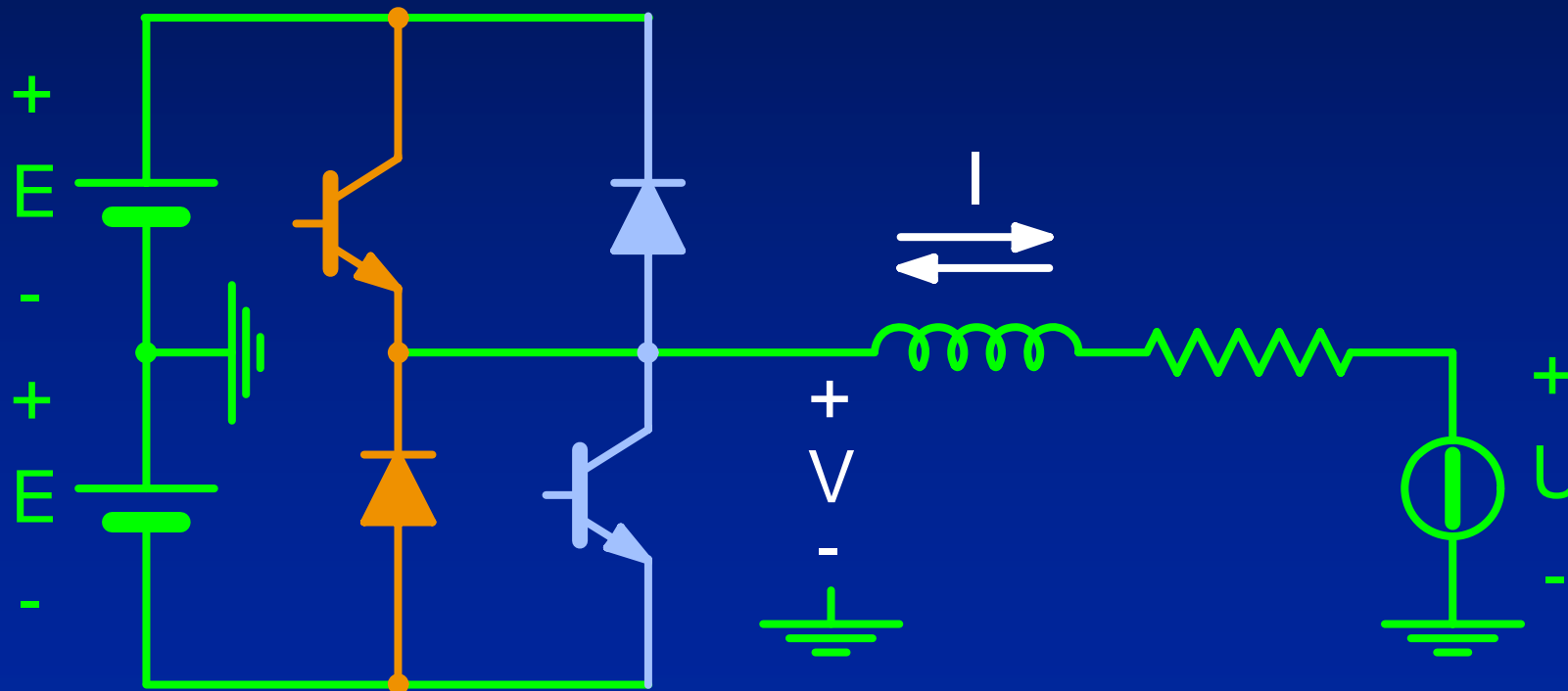
(B) Corrente di carico entrante

Transistor interdettato

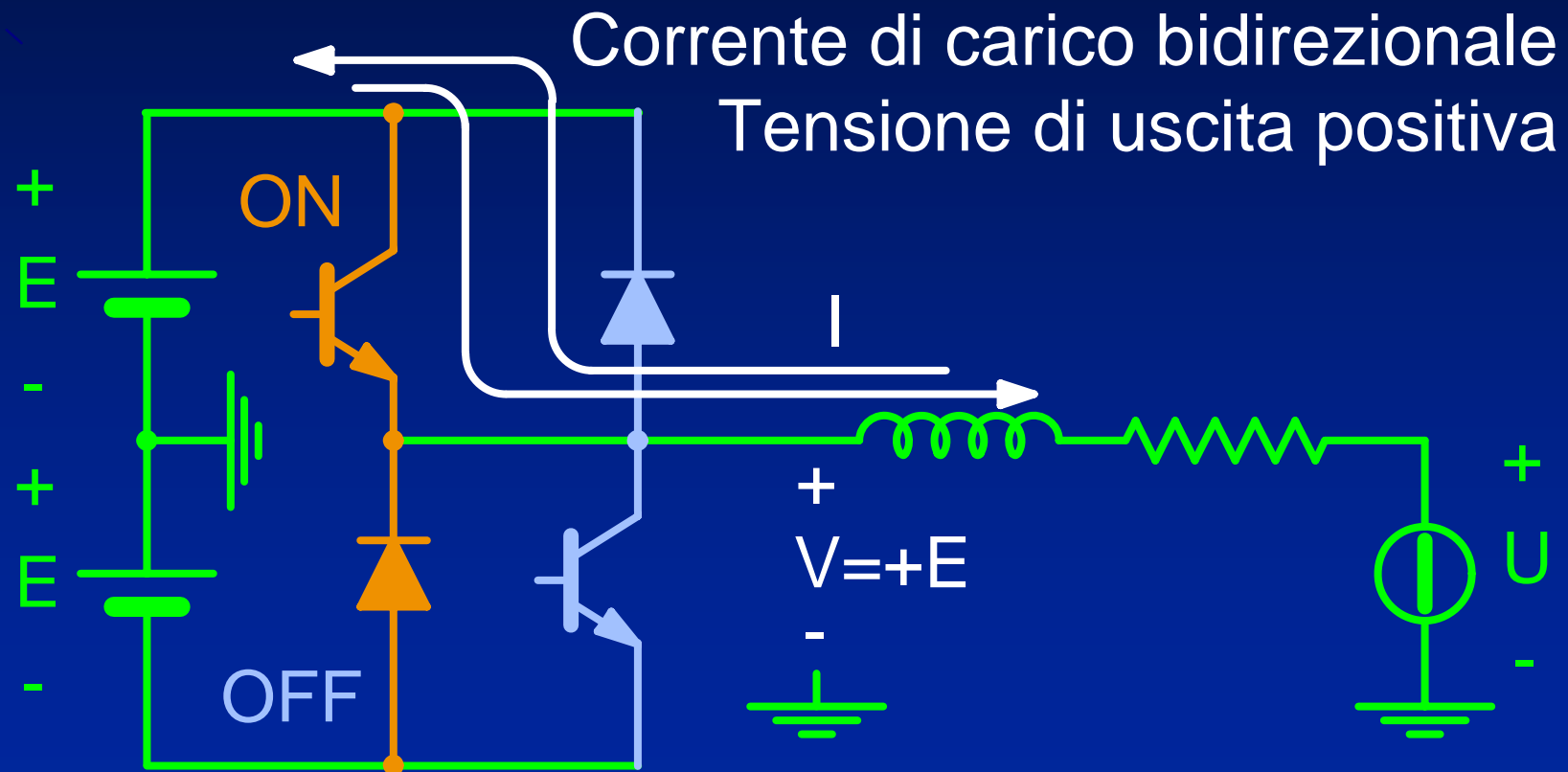


Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

(A+B) Corrente di carico bidirezionale

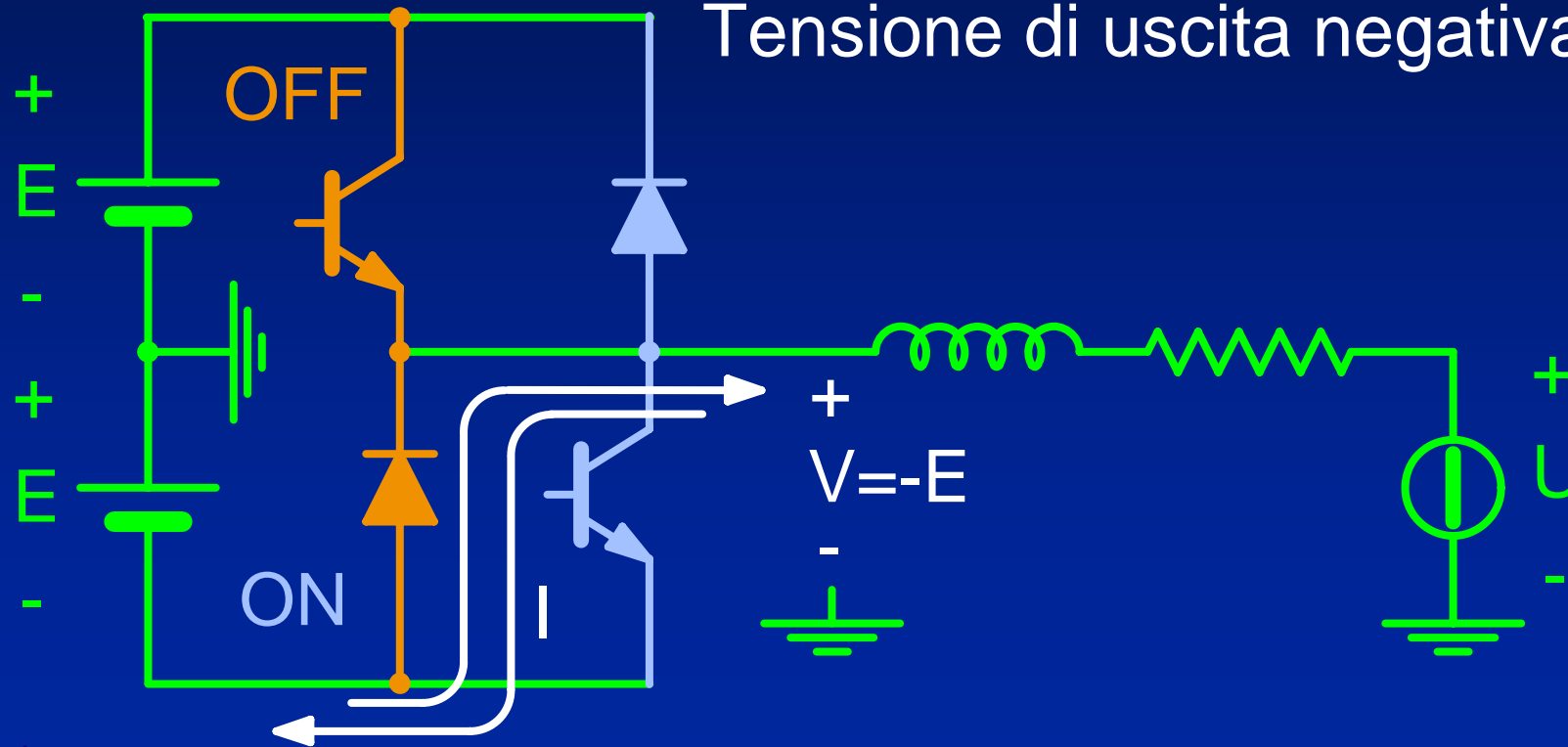


Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

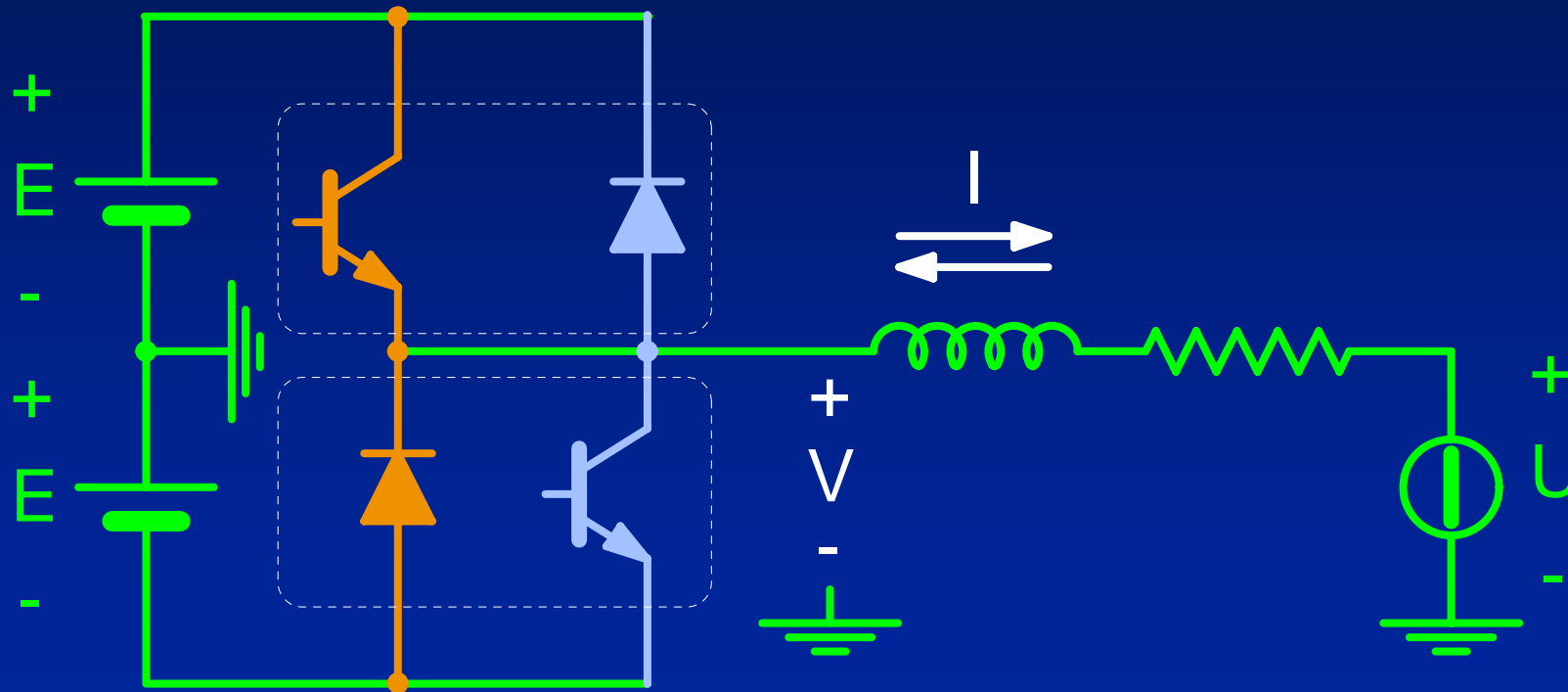


Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli

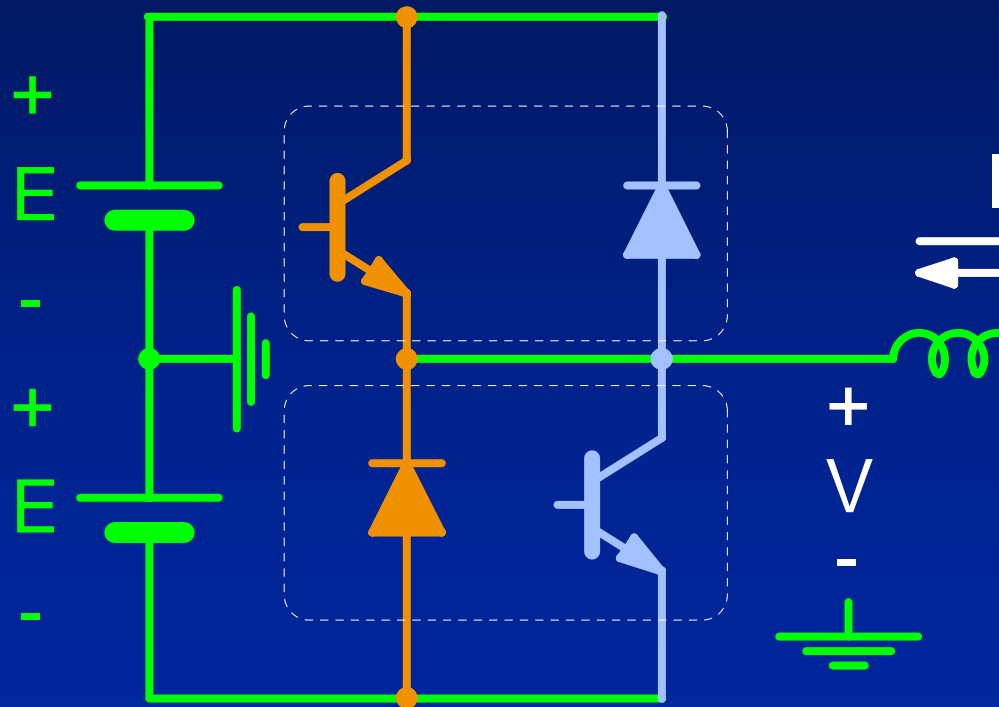
Corrente di carico bidirezionale
Tensione di uscita negativa



Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli



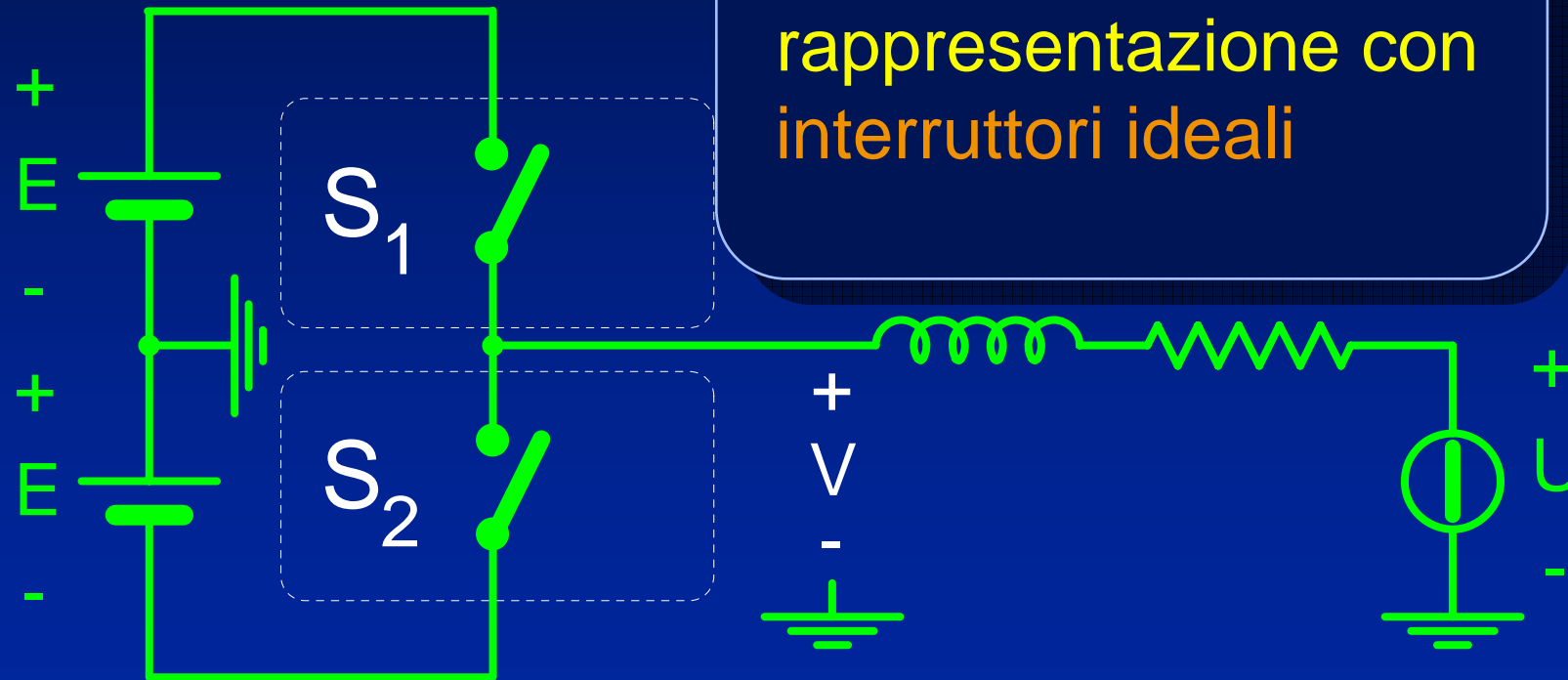
Realizzazione dell'invertitore di tensione a due livelli



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

Modulazione PWM a due livelli:

Rappresentazione
con interruttori ideali



Modulazione PWM a due livelli:

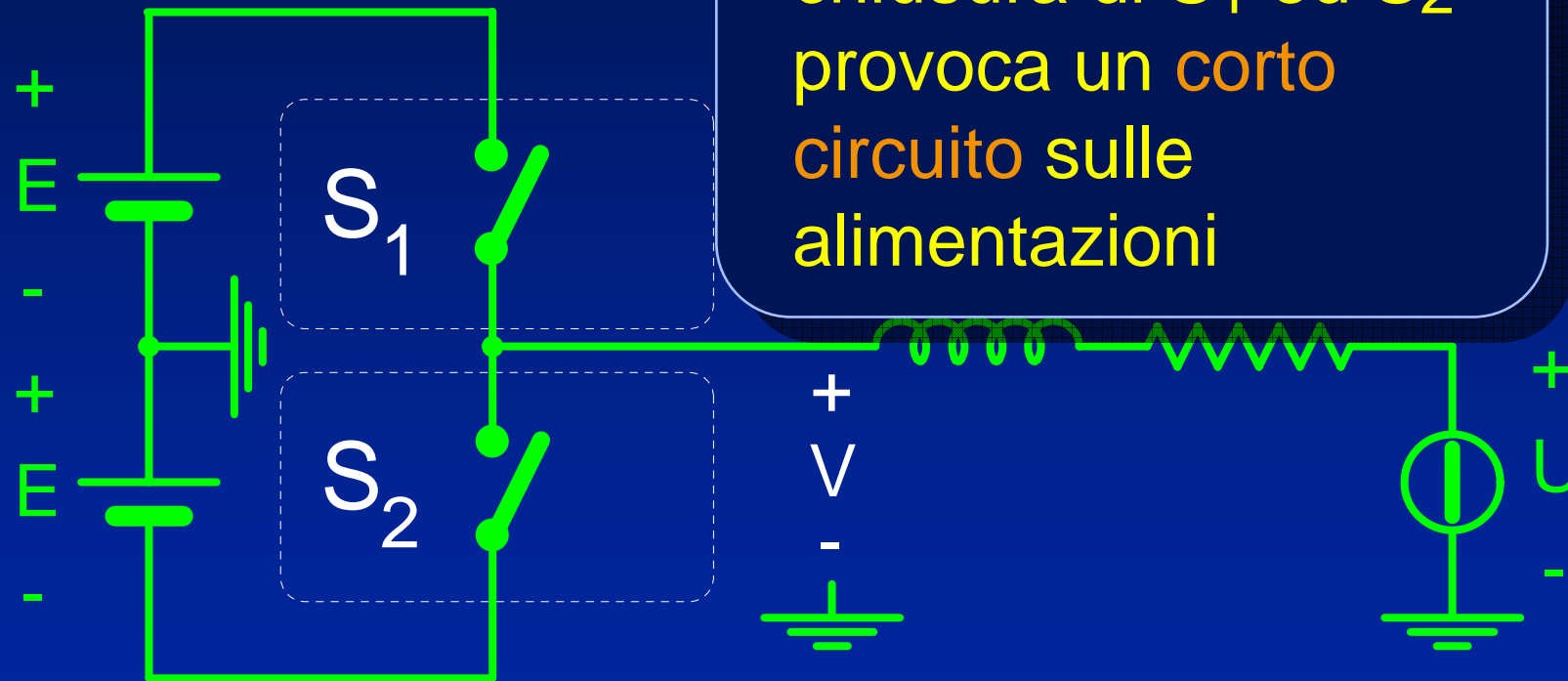
Rappresentazione
con interruttori ideali



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

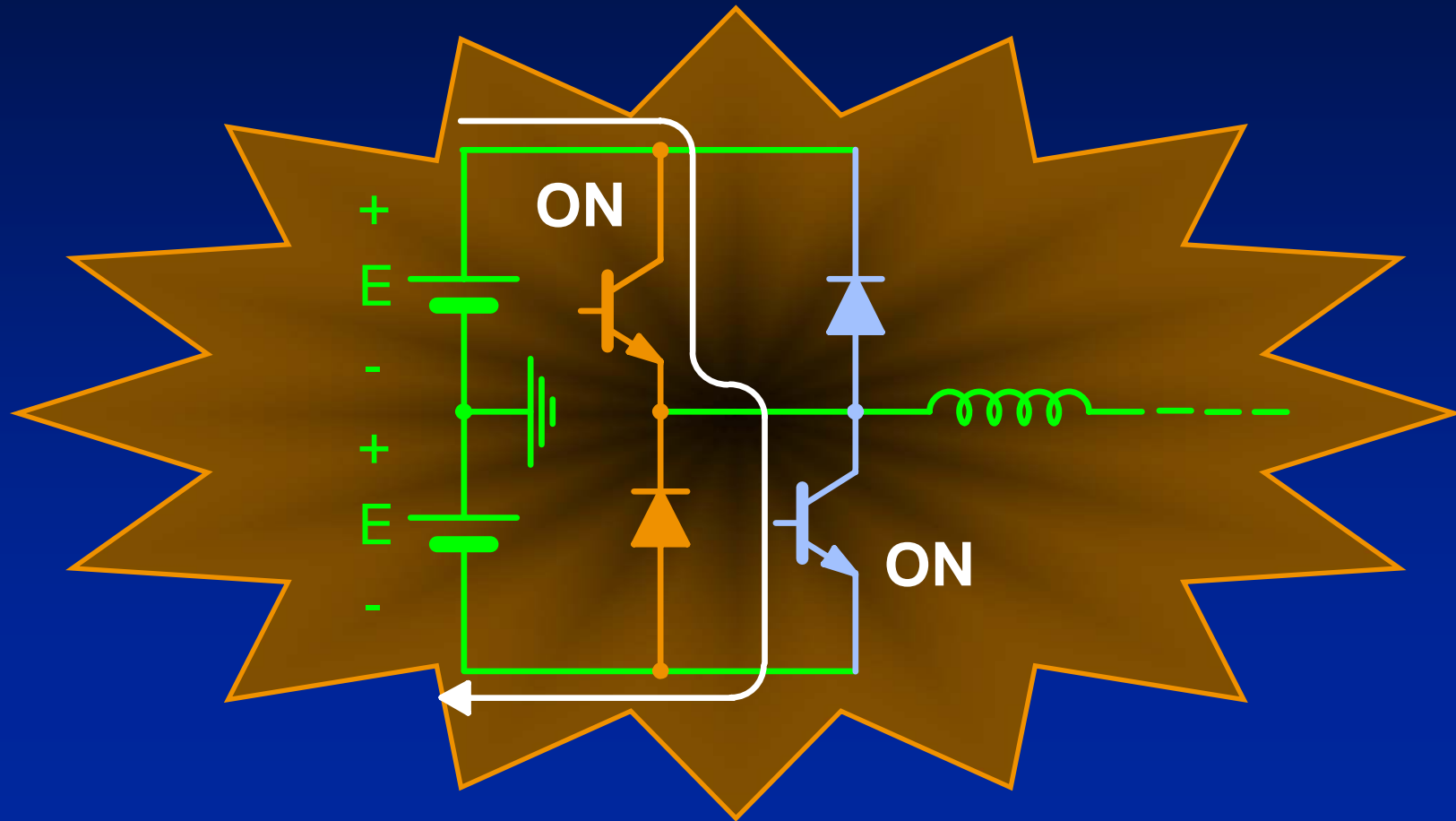
Modulazione PWM a due livelli:

Rappresentazione
con interruttori ideali



Invertitore di tensione monofase a due livelli

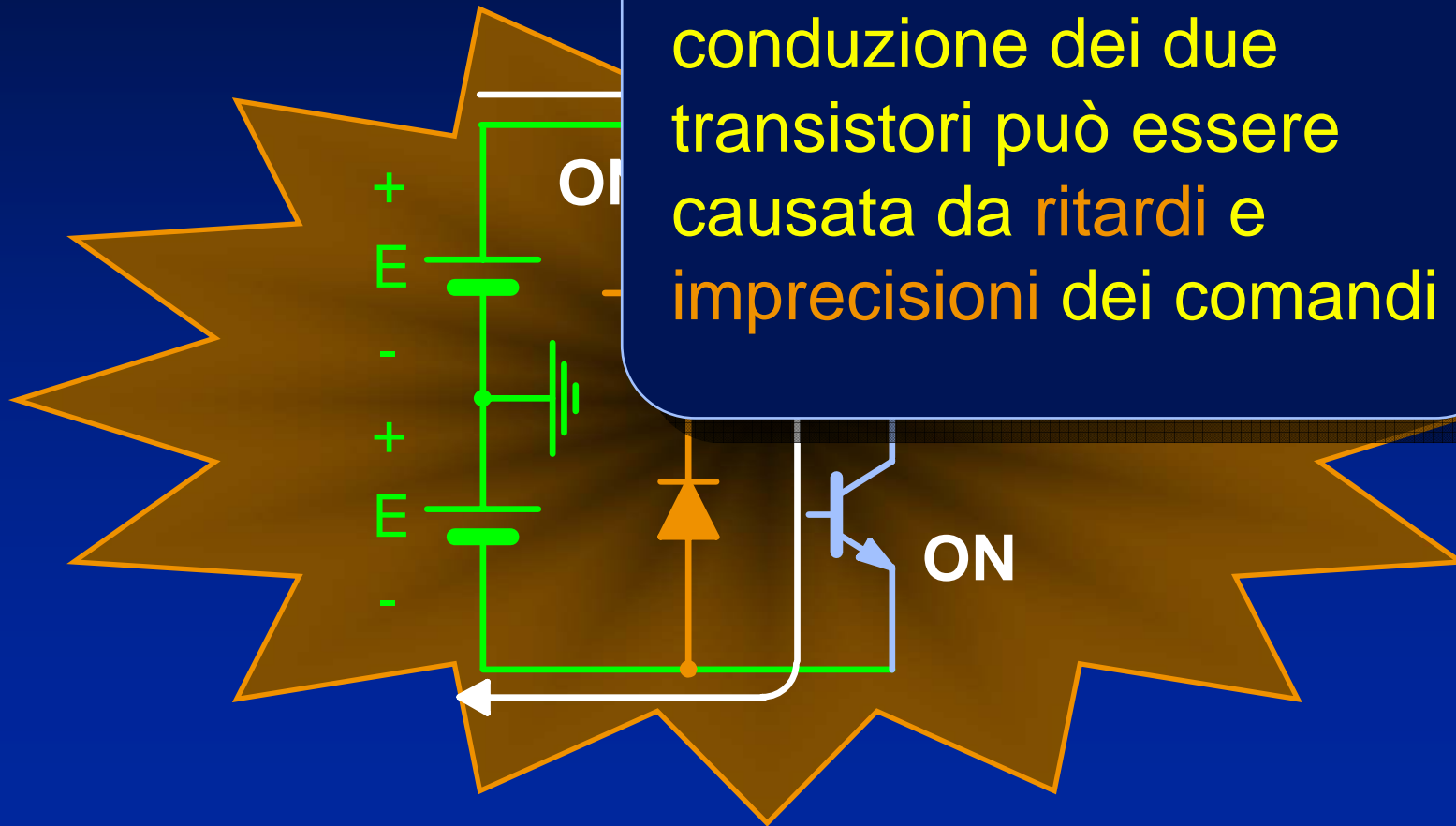
Sovrapposizione di conduzione dei transistor



Invertitore di tensione a semiconduttore a due livelli

Sovrapposizione

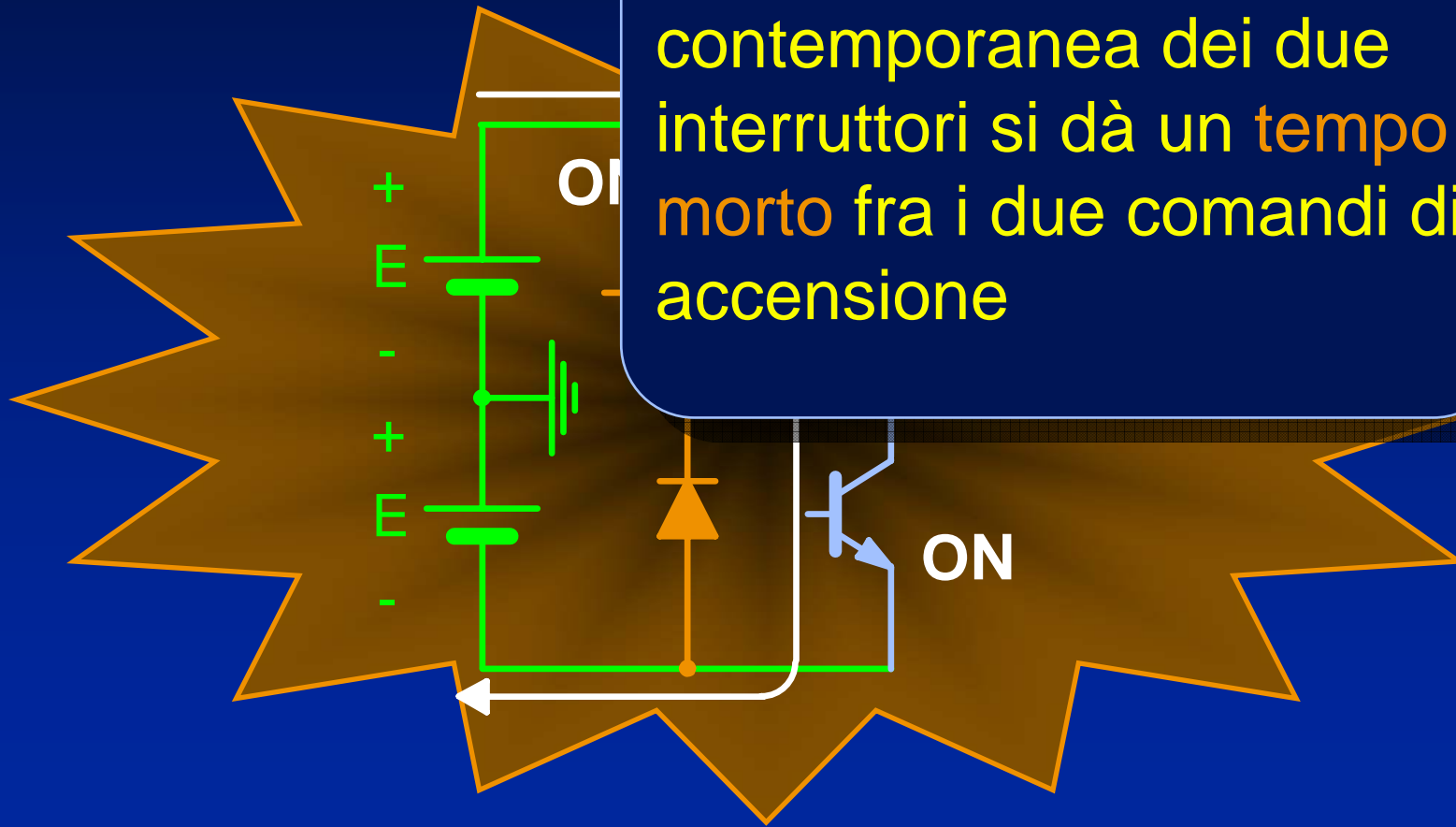
La sovrapposizione della conduzione dei due transistori può essere causata da ritardi e imprecisioni dei comandi



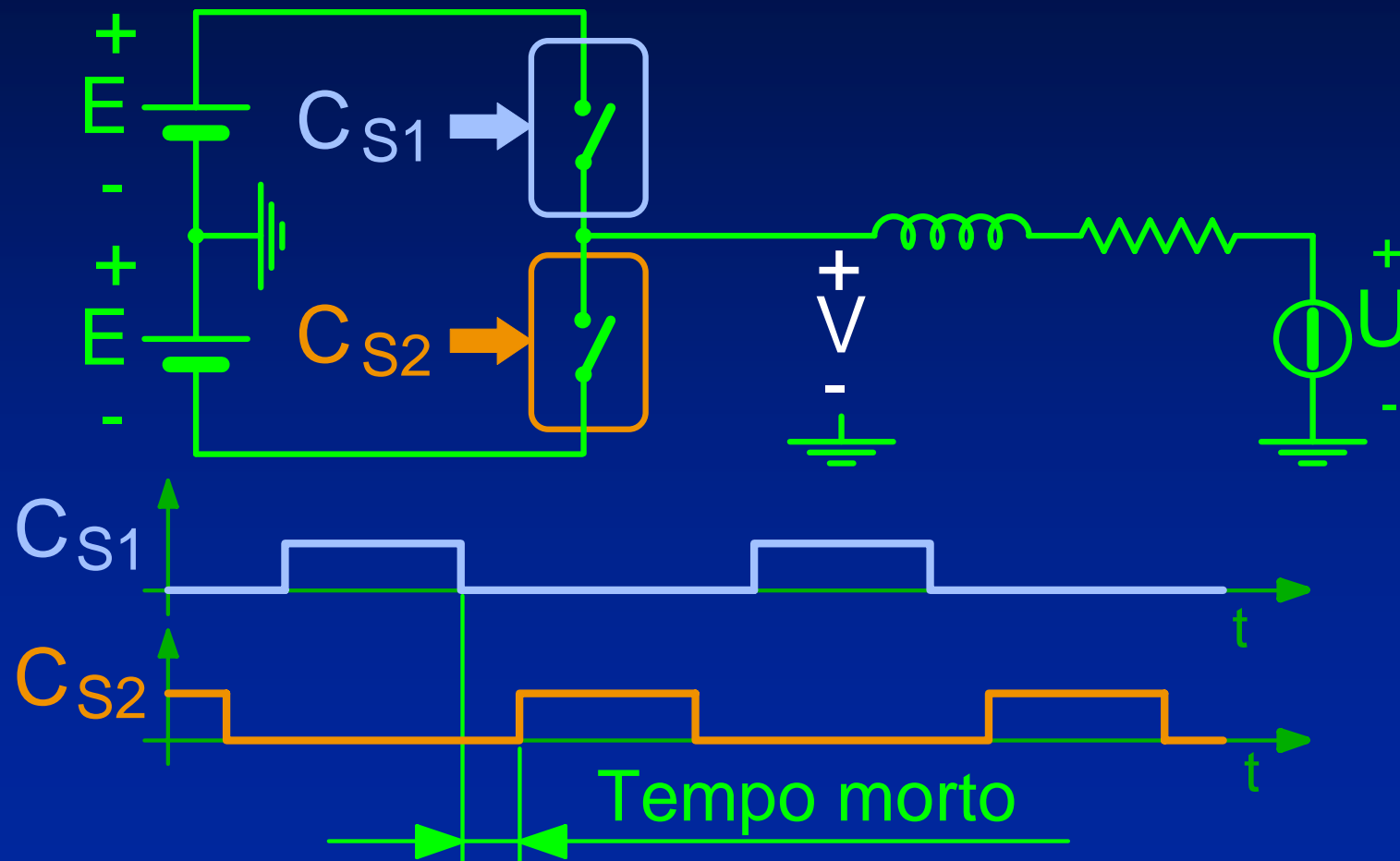
Invertitore di tensione a semiconduttore a due livelli

Sovrapposizione

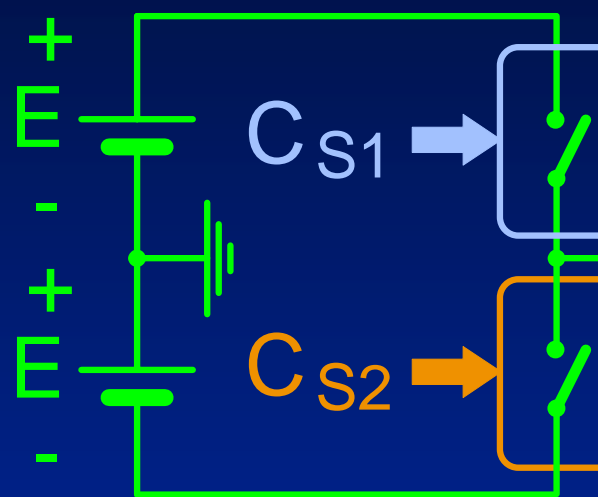
Per evitare la conduzione contemporanea dei due interruttori si dà un tempo morto fra i due comandi di accensione



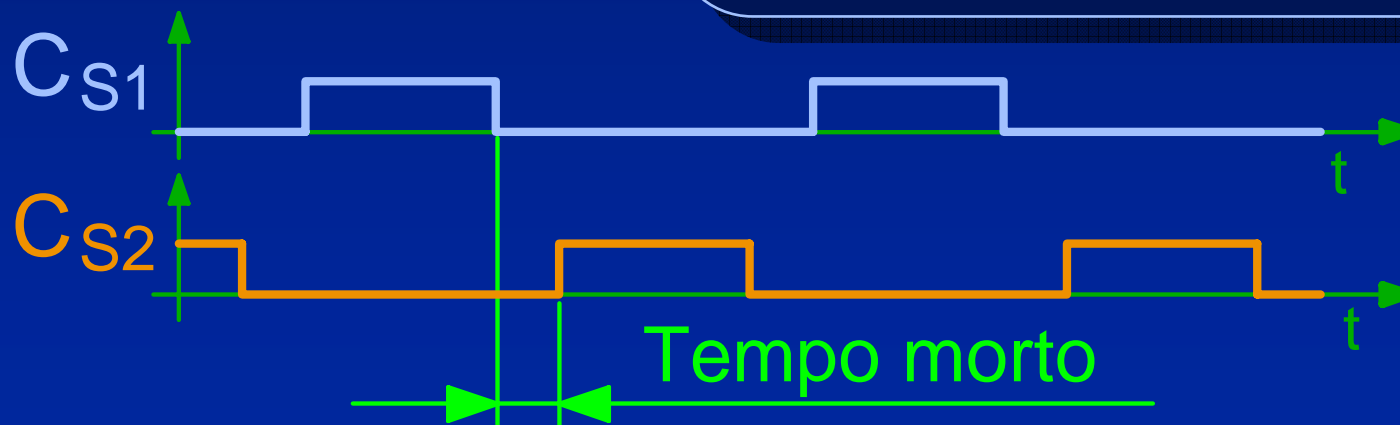
Tempo morto di comando



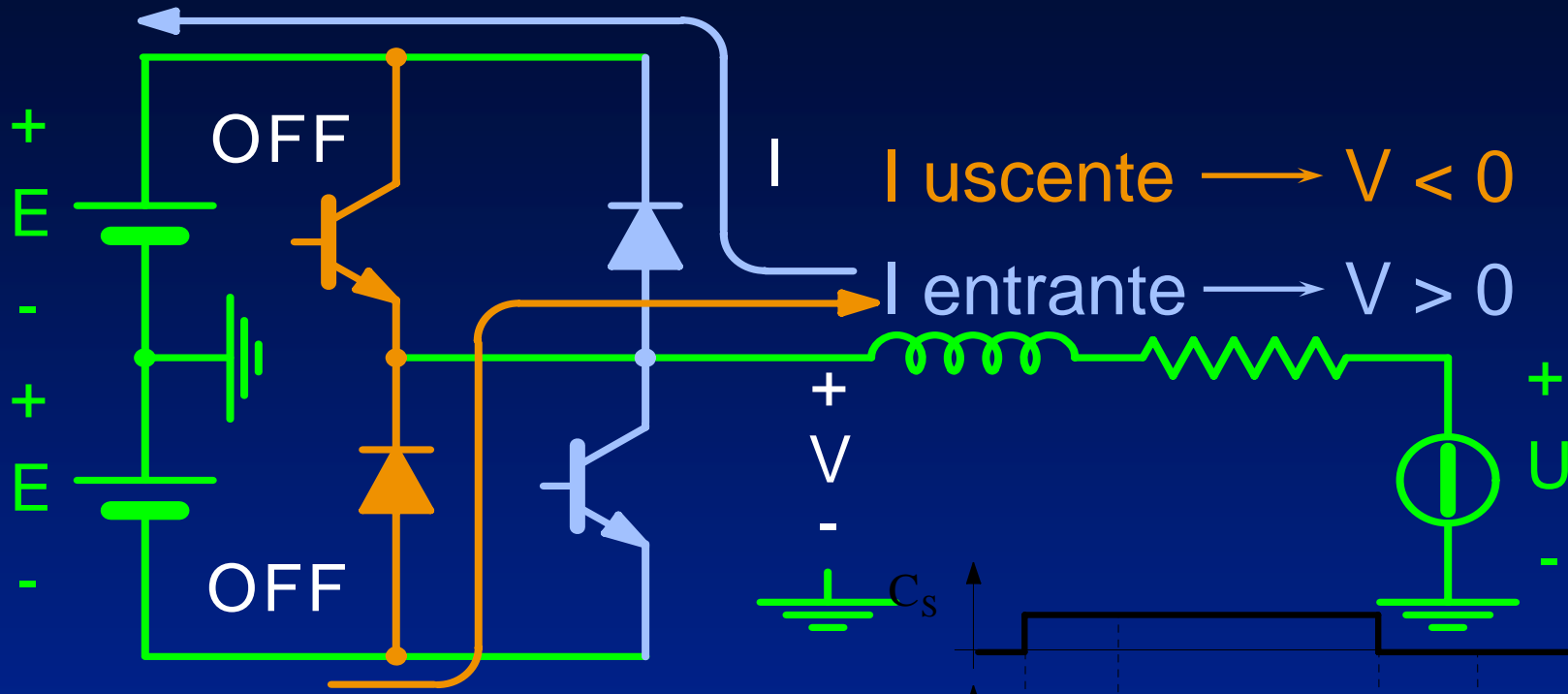
Tempo morto di commutazione



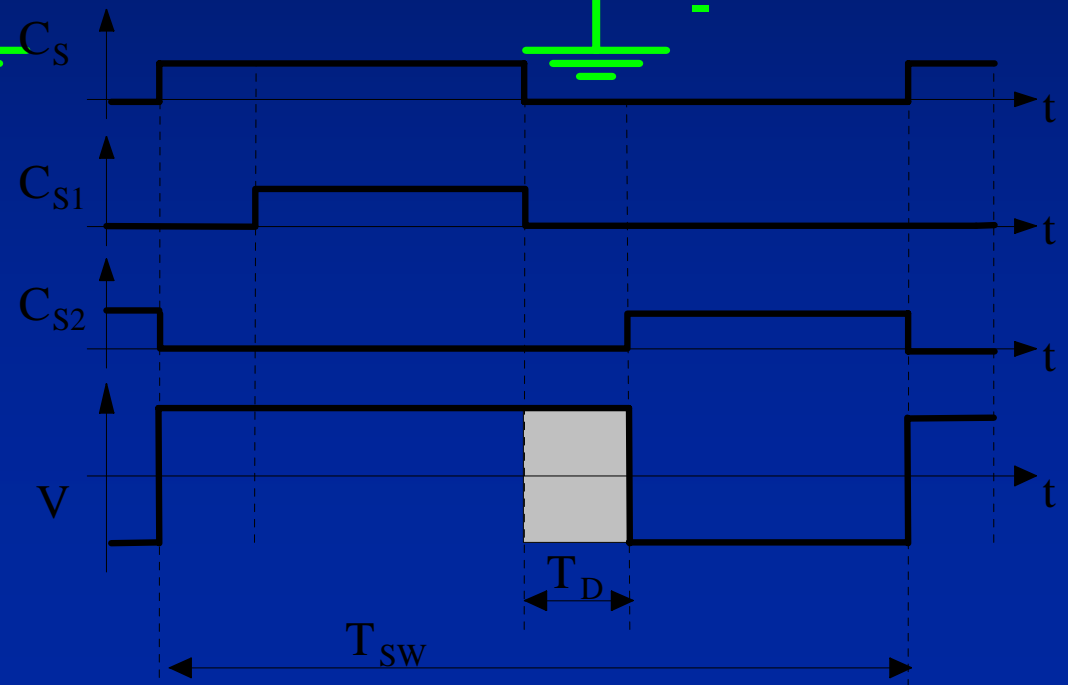
Durante il tempo morto è necessario avere una via di richiusura per la corrente di carico



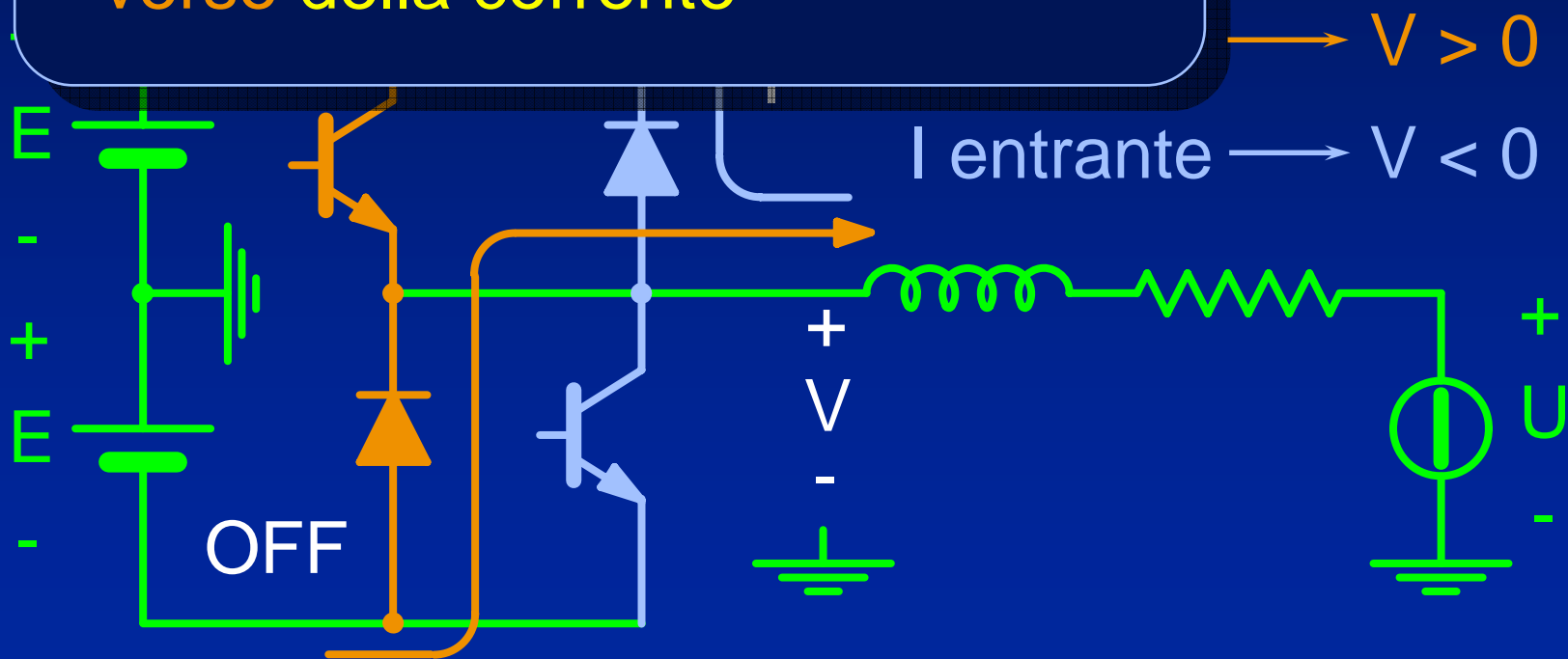
Conduzione dei diodi durante il tempo morto



I entrante $V > 0$
 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 $V = +E$

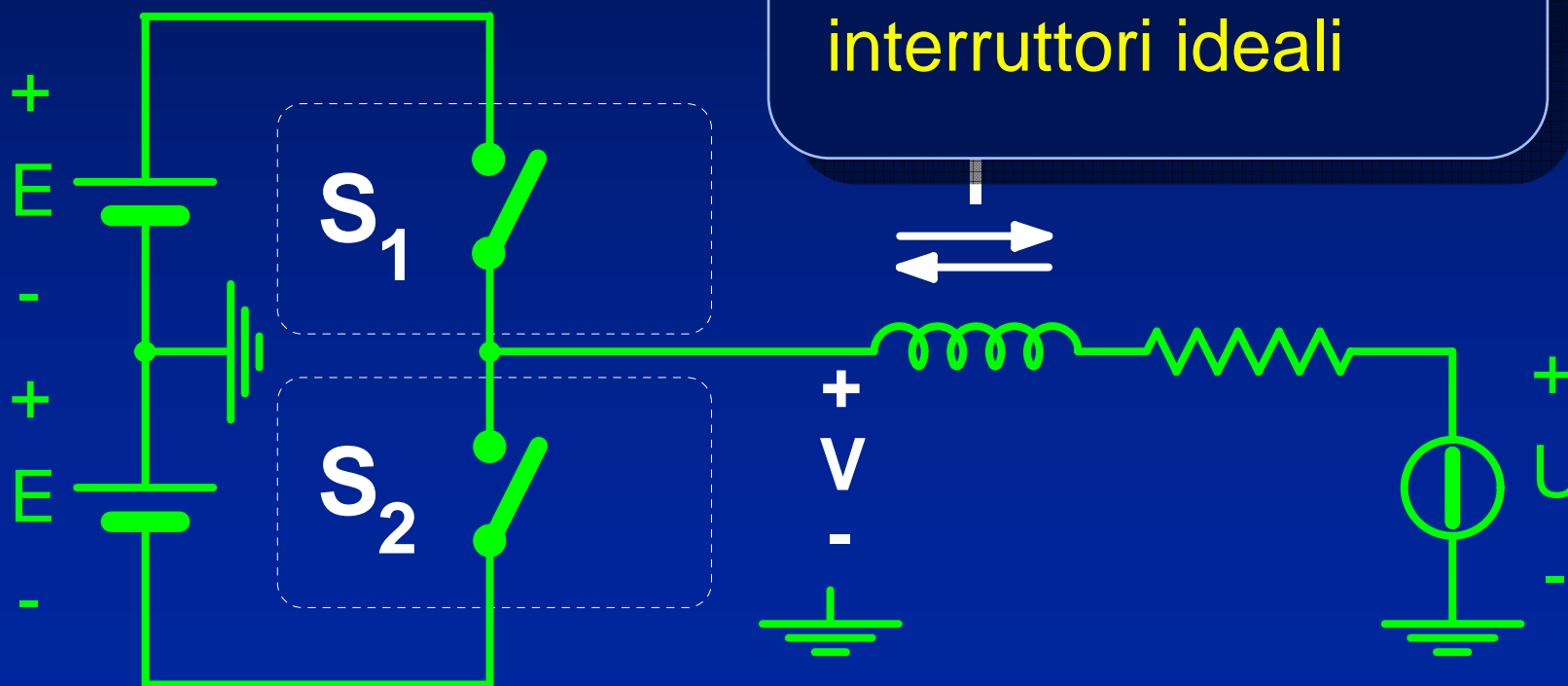
S_1 OFF S_2 ON \longrightarrow $V = -E$

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

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

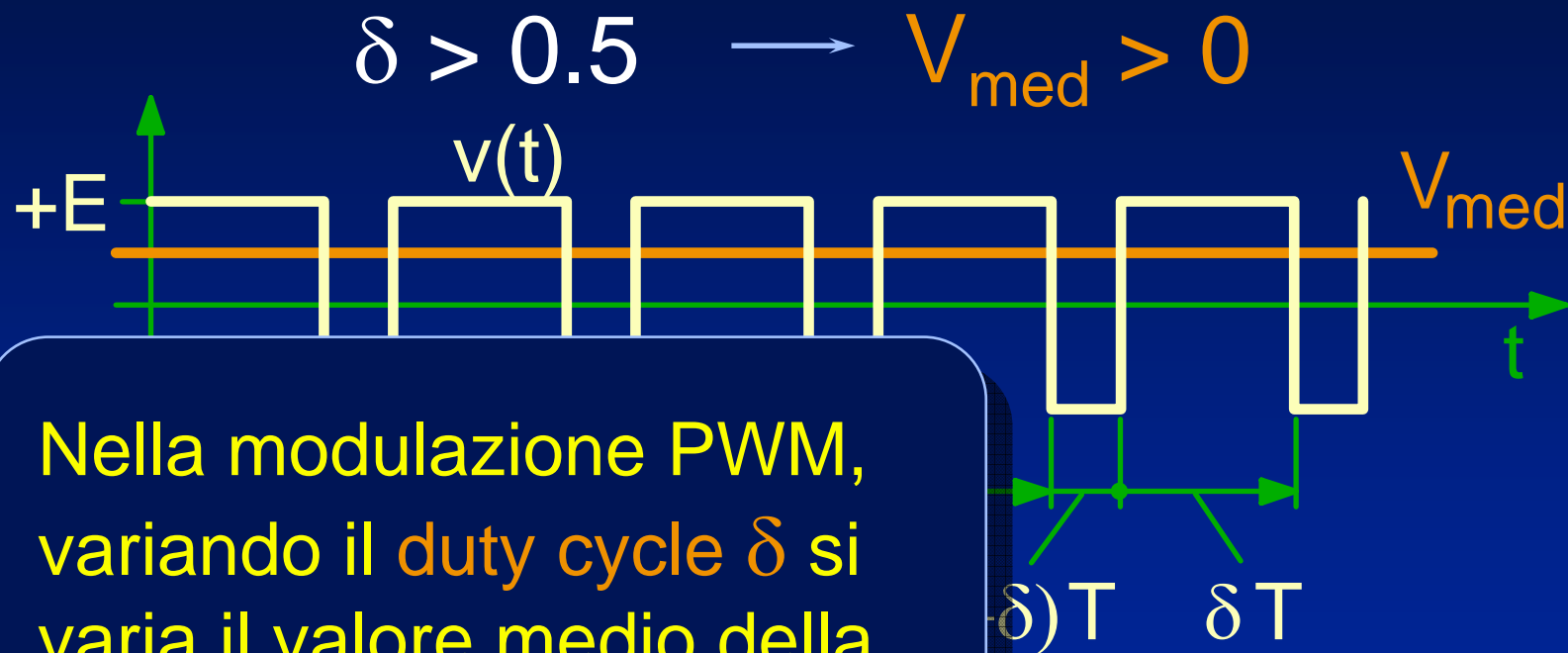
Invertitore di tensione a ponte a due livelli

Rappresentazione
con interruttori ideali



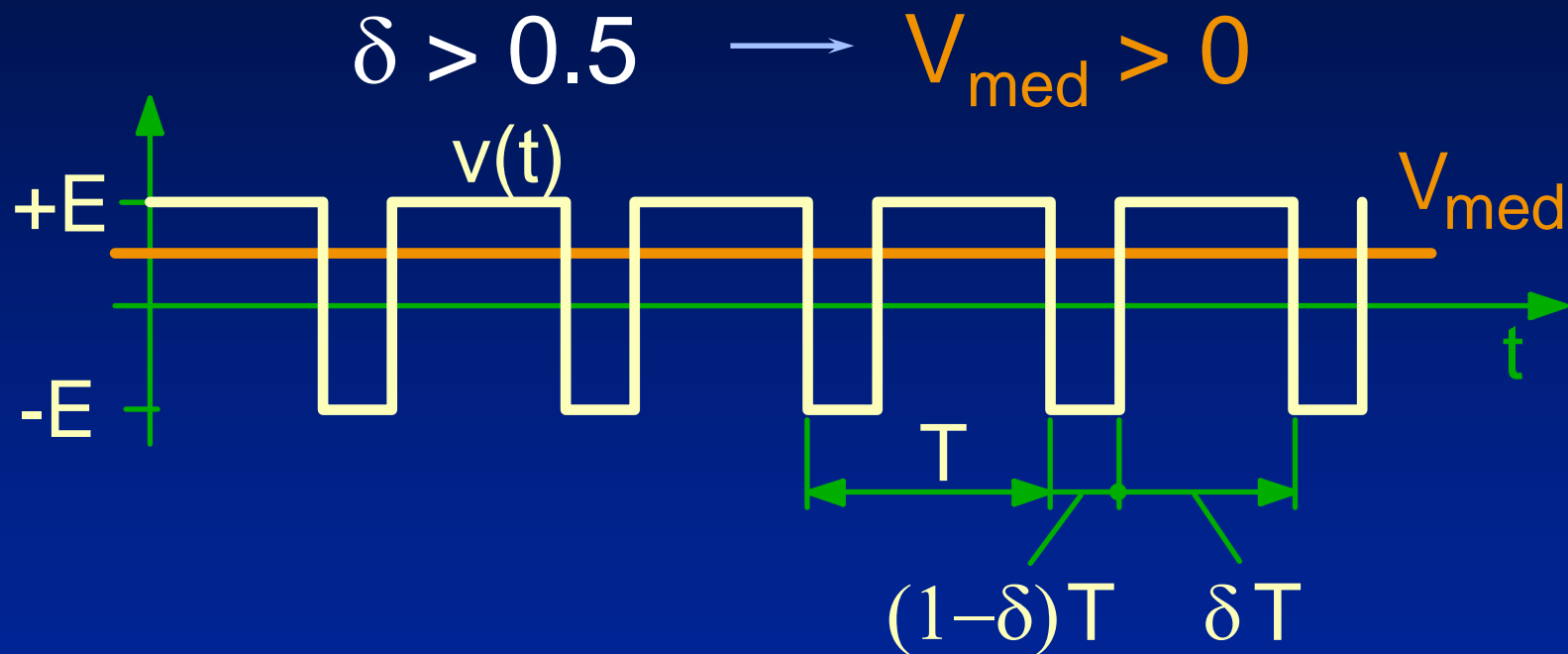
La modulazione
PWM verrà studiata
con riferimento a
interuttori ideali

Modulazione PWM a due livelli



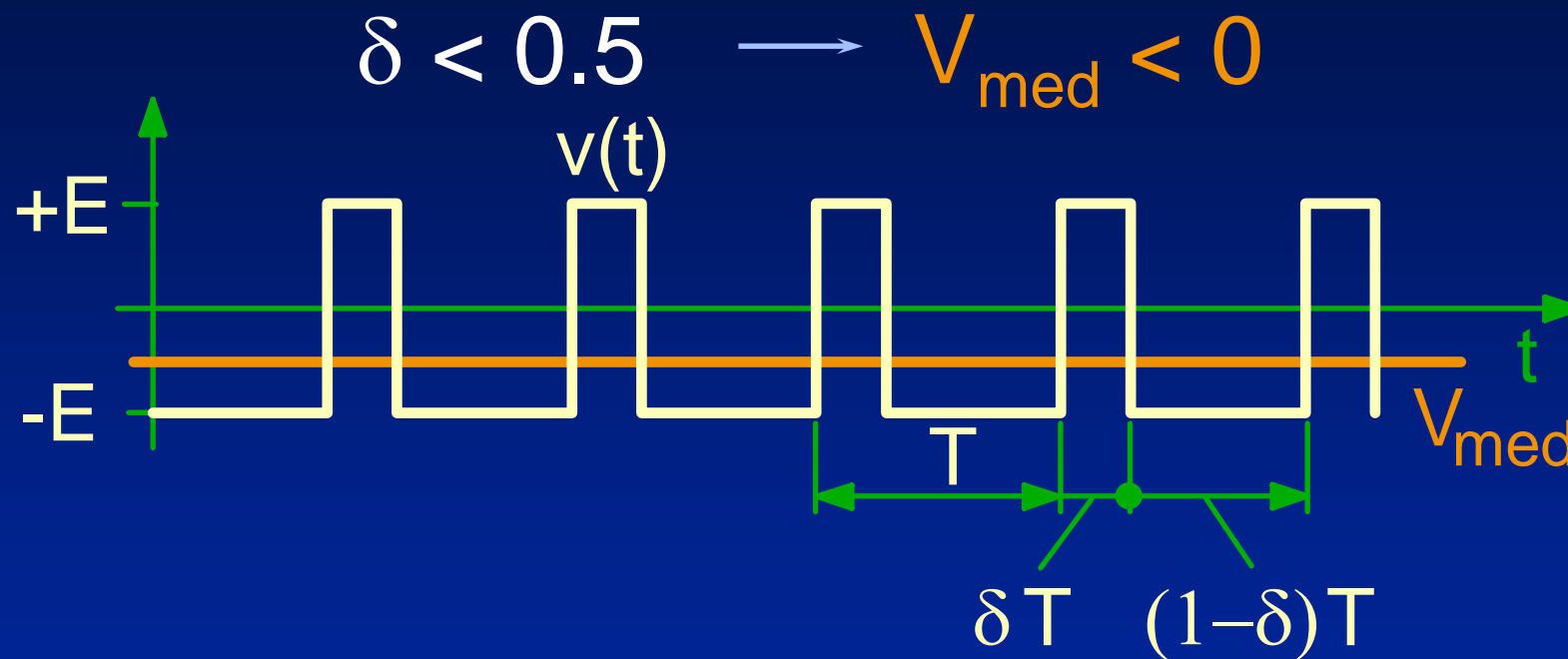
Nella modulazione PWM, variando il duty cycle δ si varia il valore medio della tensione di uscita

Modulazione PWM a due livelli



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

Modulazione PWM a due livelli



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

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 $\delta = 0.5$

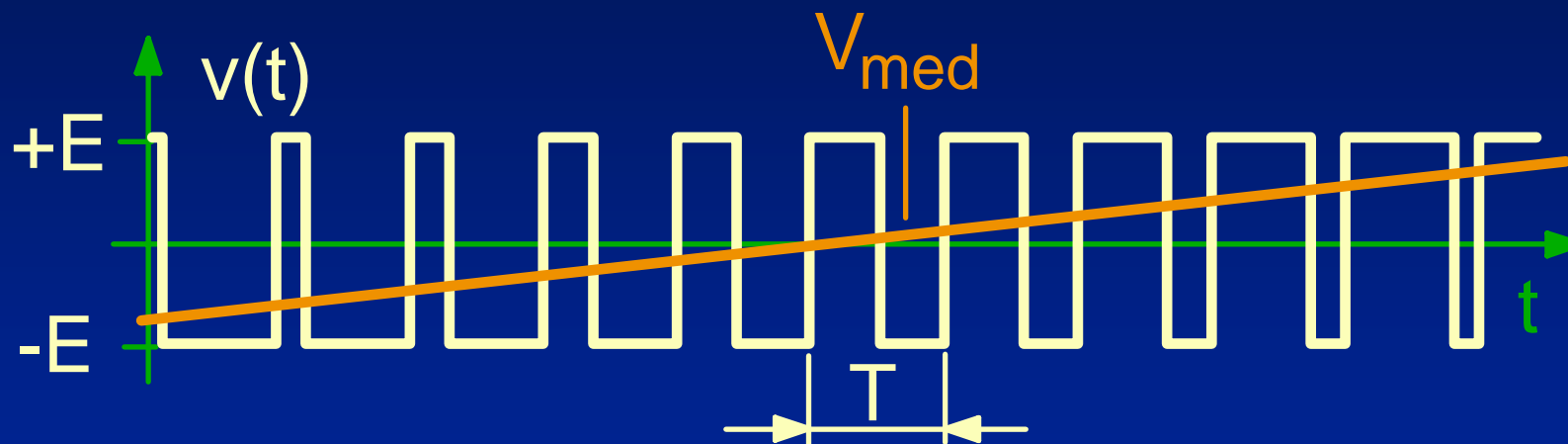
Modulazione PWM a due livelli

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

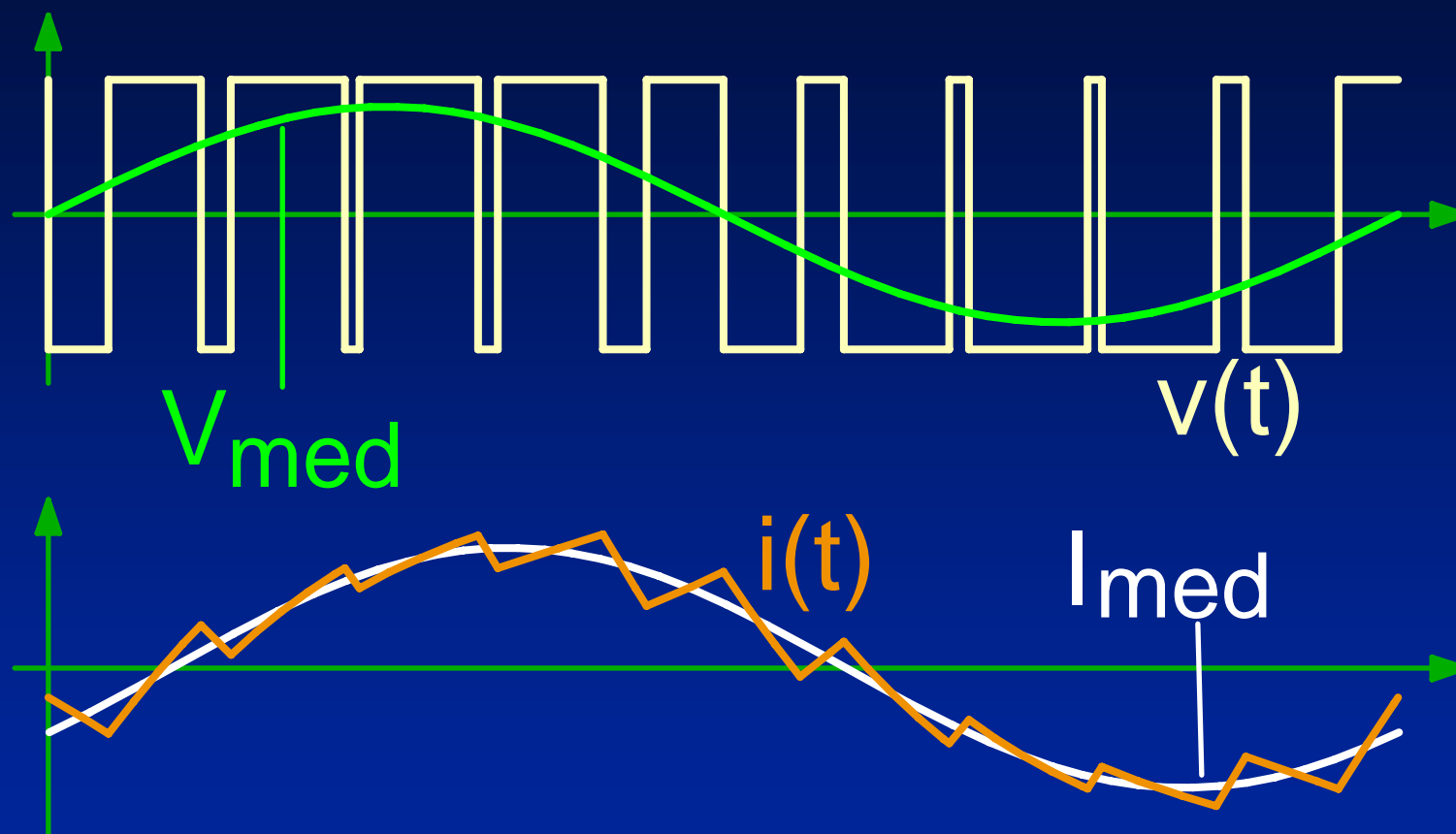
Tensione di uscita variabile



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

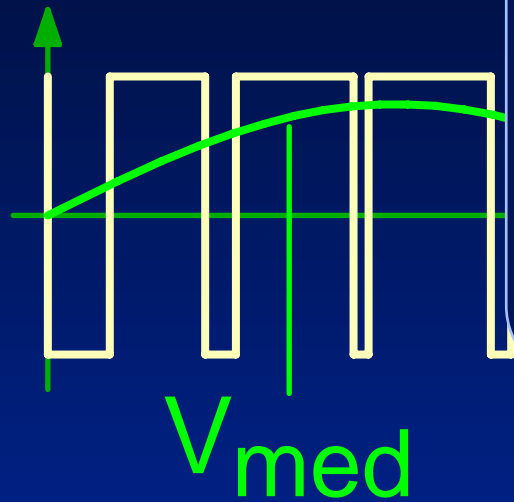
Modulazione PWM a due livelli

Forma d'onda sinusoidale

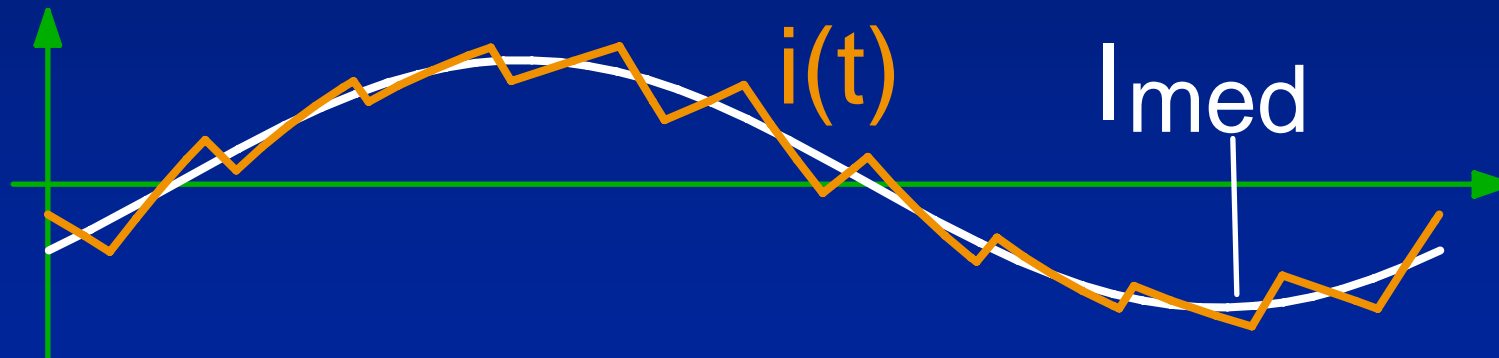


Modulazi

Form

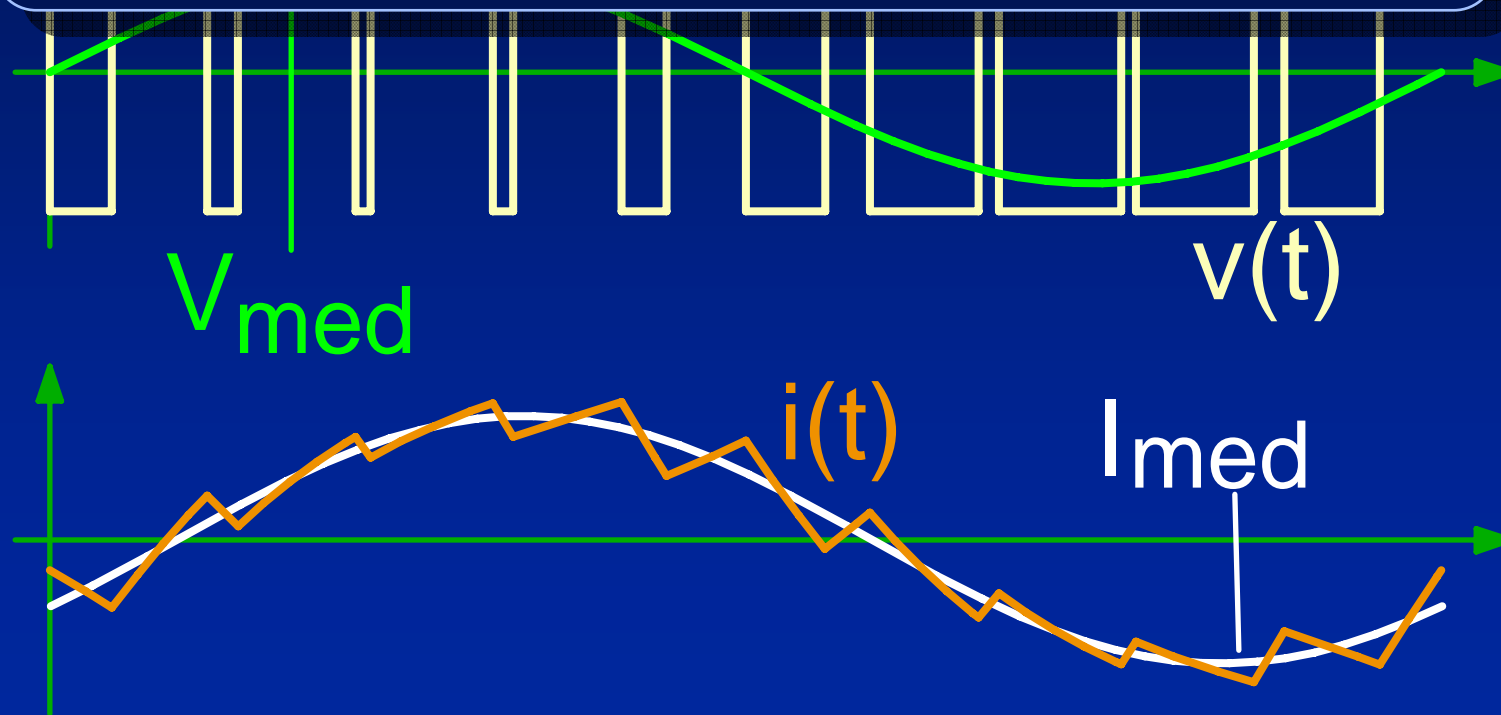


V_{med} e I_{med} sono definite come le medie in un periodo di modulazione dei valori istantanei di tensione $v(t)$ e di corrente $i(t)$



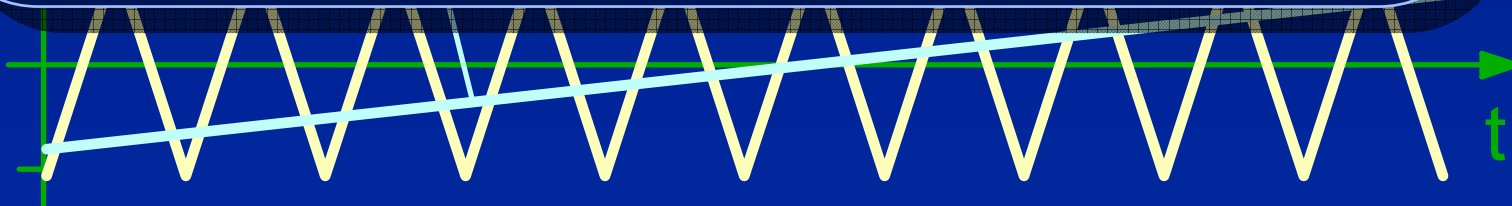
Modulazione PWM a due livelli

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



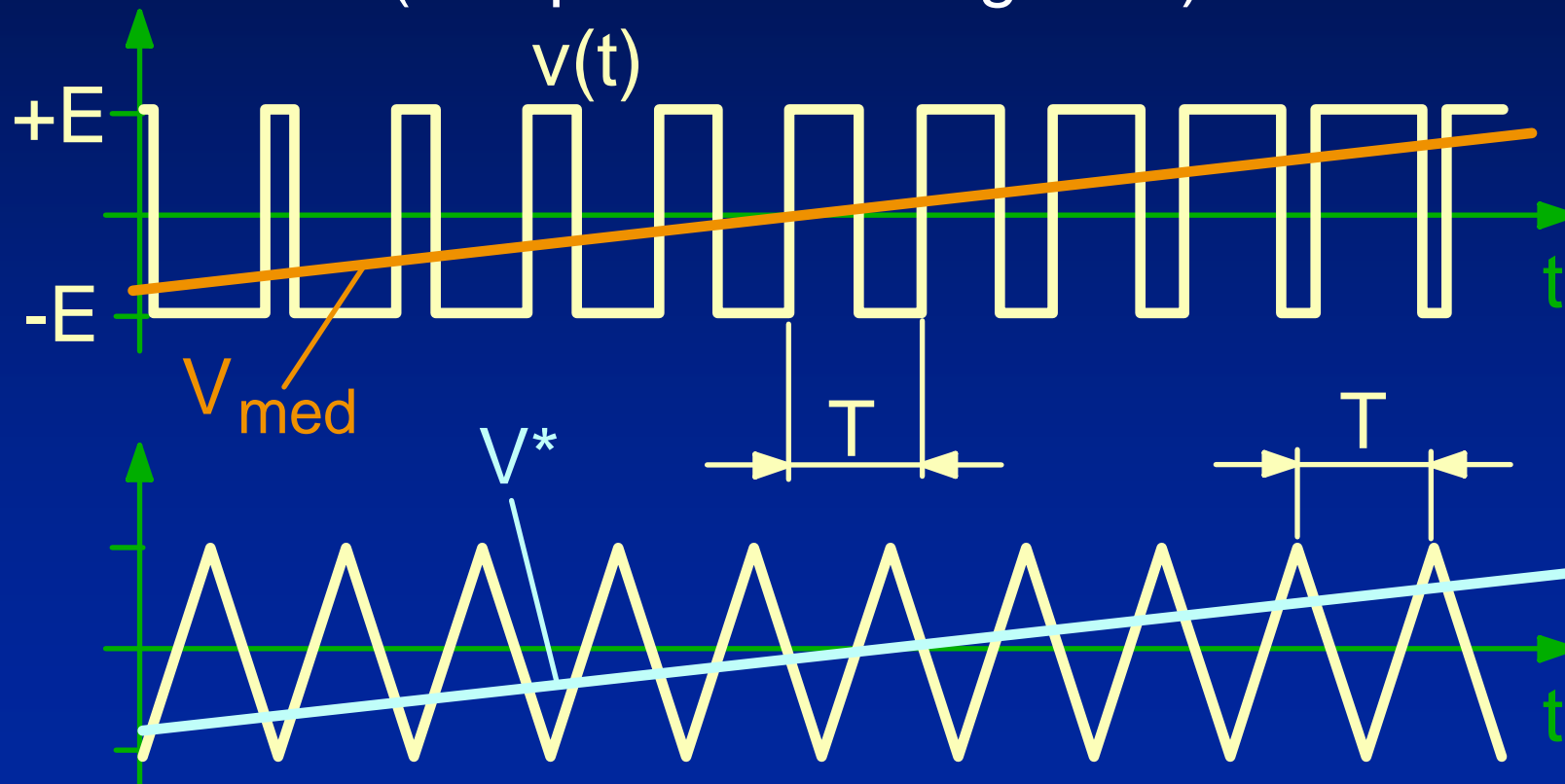
Modulazione PWM a due livelli

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



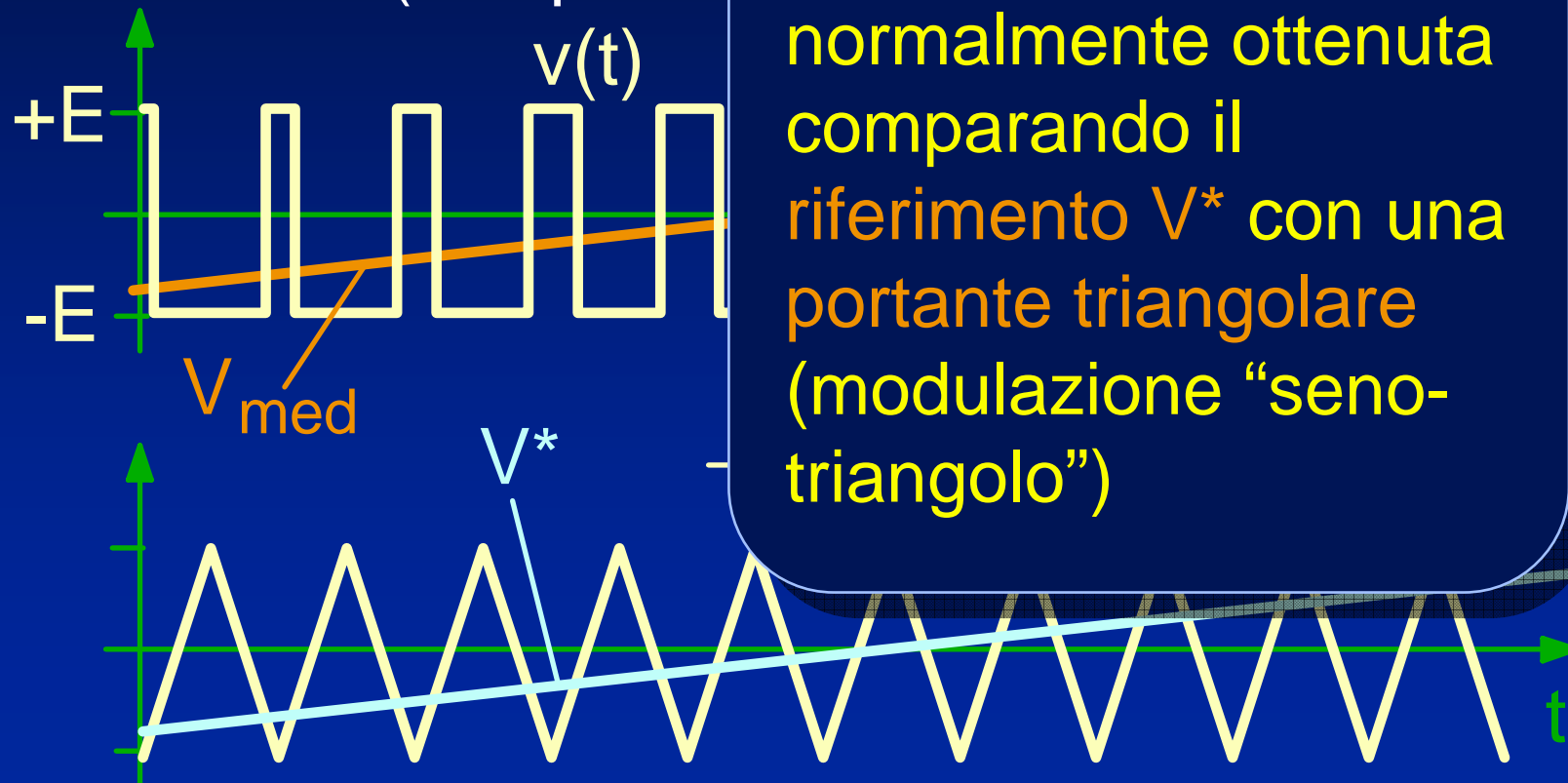
Modulazione PWM a due livelli

Modulazione analogica
(con portante triangolare)



Modulazione PWM

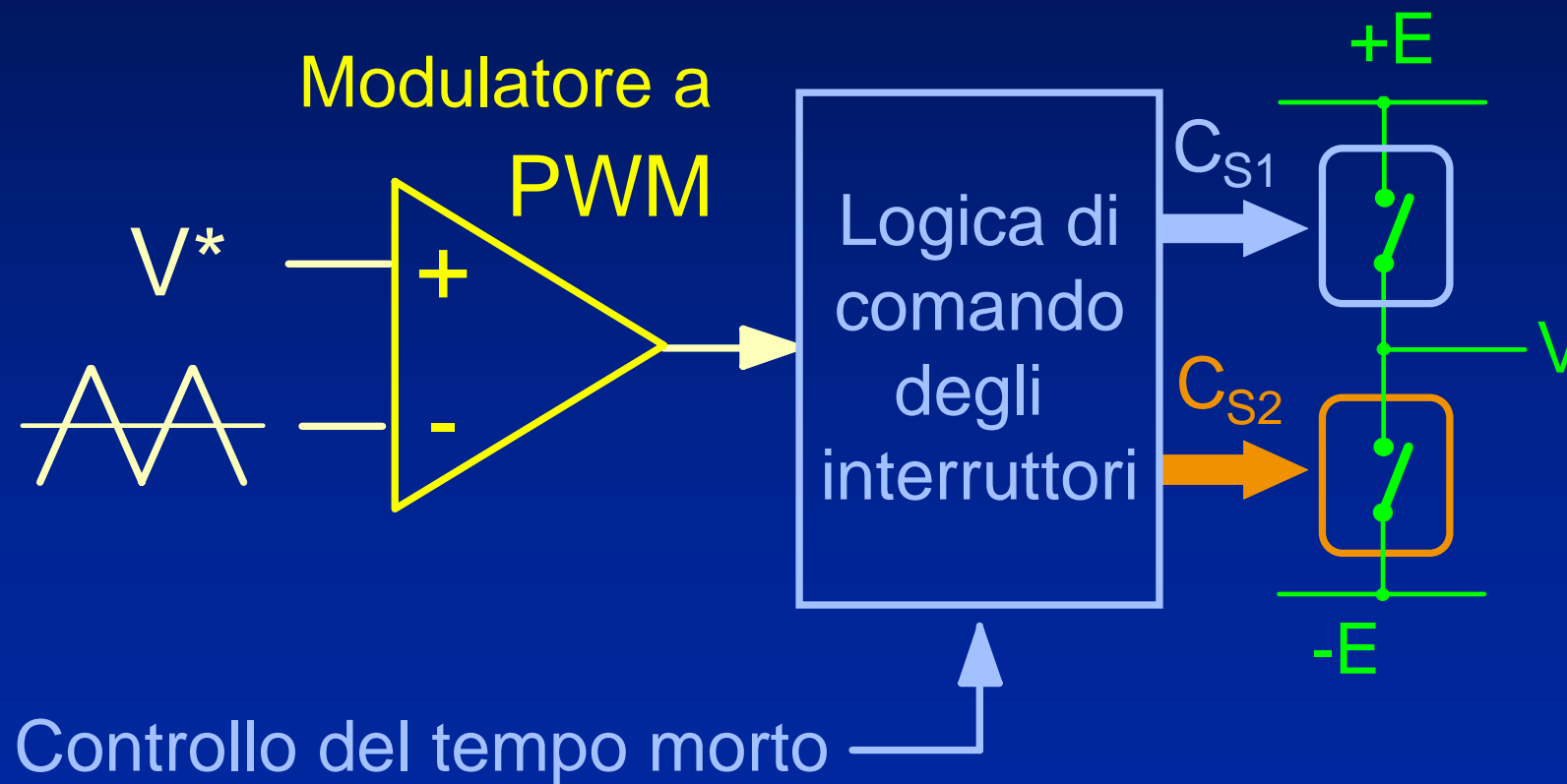
Modulazione
(con portante



La modulazione analogica è normalmente ottenuta comparando il riferimento V^* con una portante triangolare (modulazione "seno-triangolo")

Modulazione PWM a due livelli

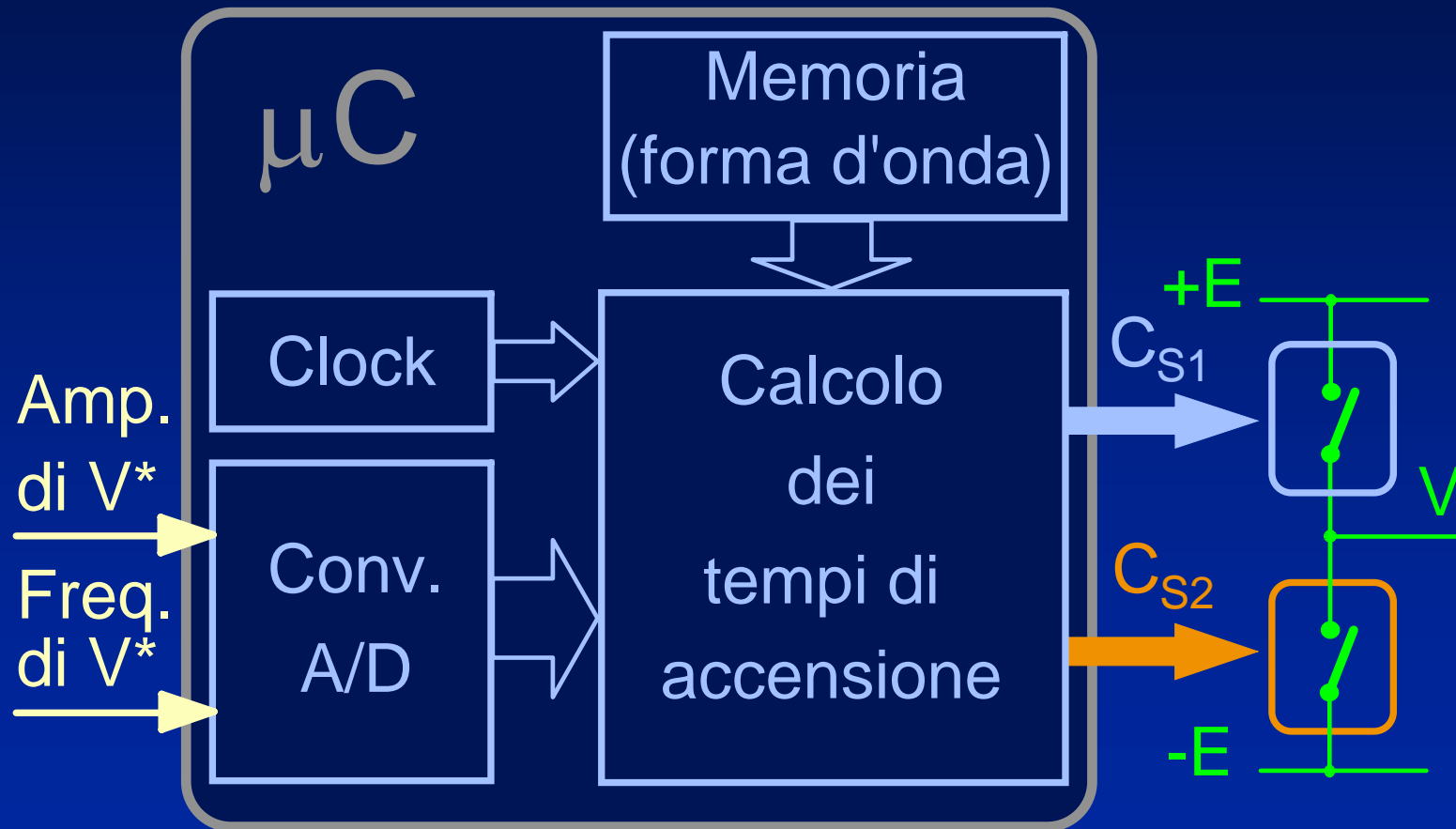
Modulazione analogica: schema a blocchi





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

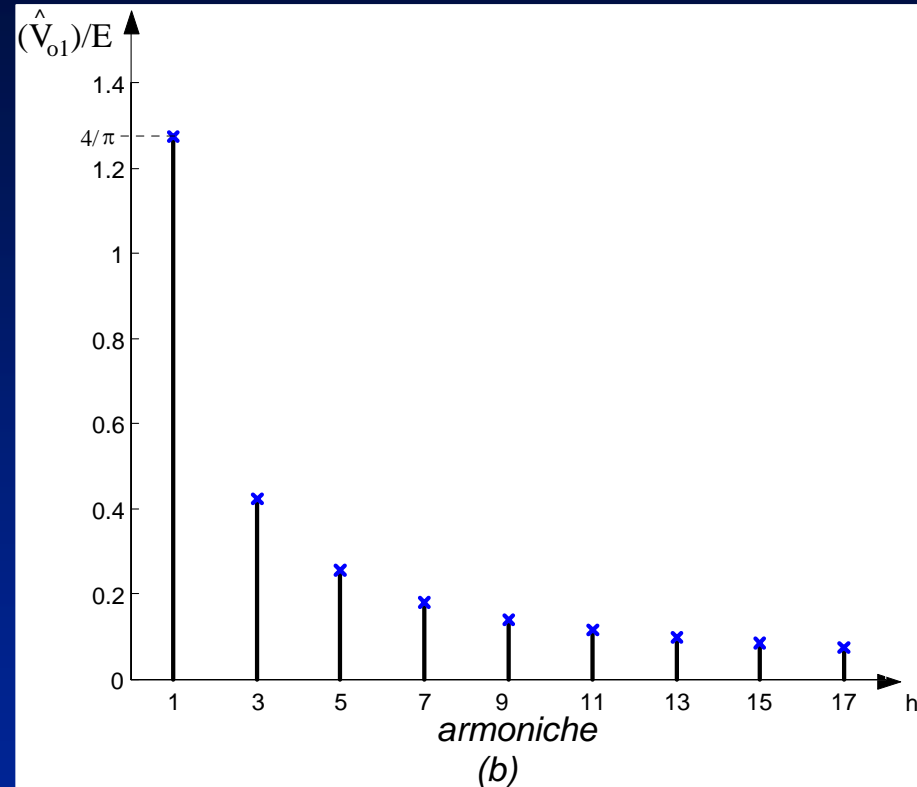
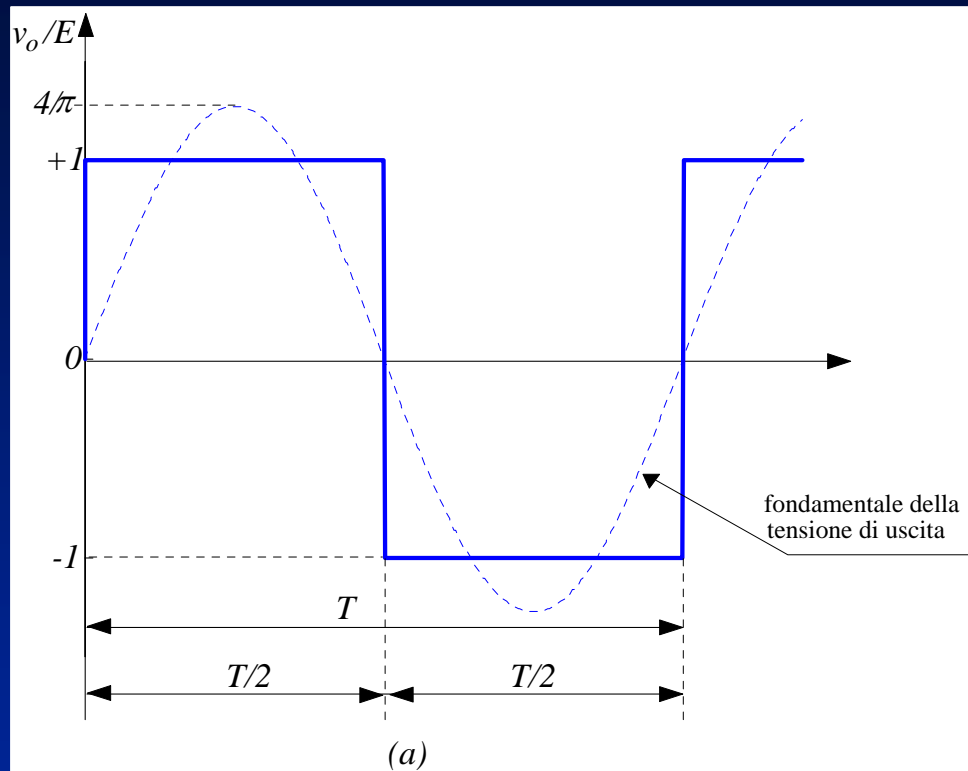
Quando la frequenza di modulazione diventa prossima a quella della V^* da generare (pochi impulsi per periodo) il filtraggio del carico si riduce e la forma d'onda della corrente è molto distorta

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

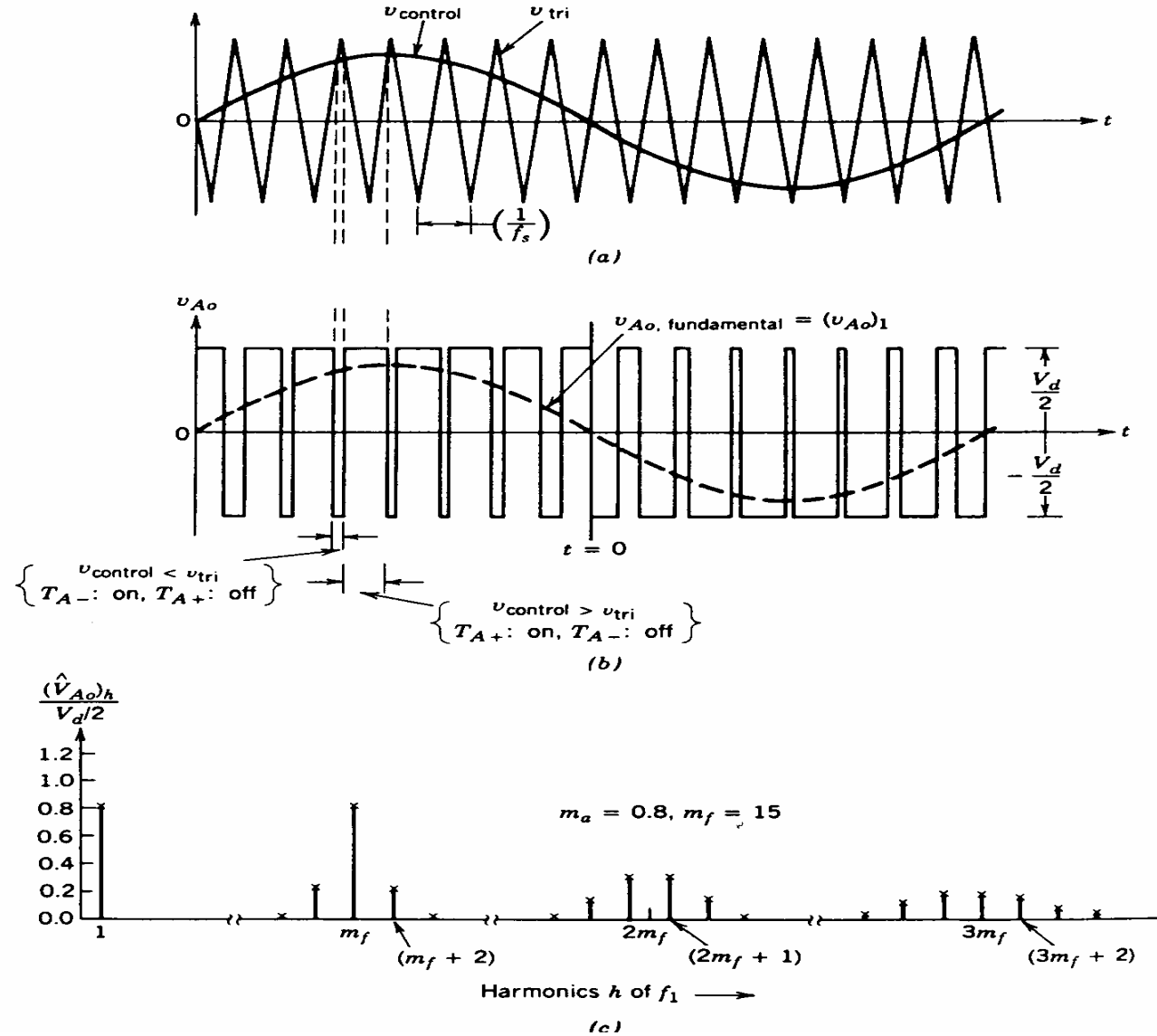
Modulazione ad onda quadra



La tensione d'uscita è notevolmente deformata, le armoniche sono molto vicine alla frequenza della fondamentale

Modulazione PWM a due livelli

Modulazione analogica (con portante triangolare)

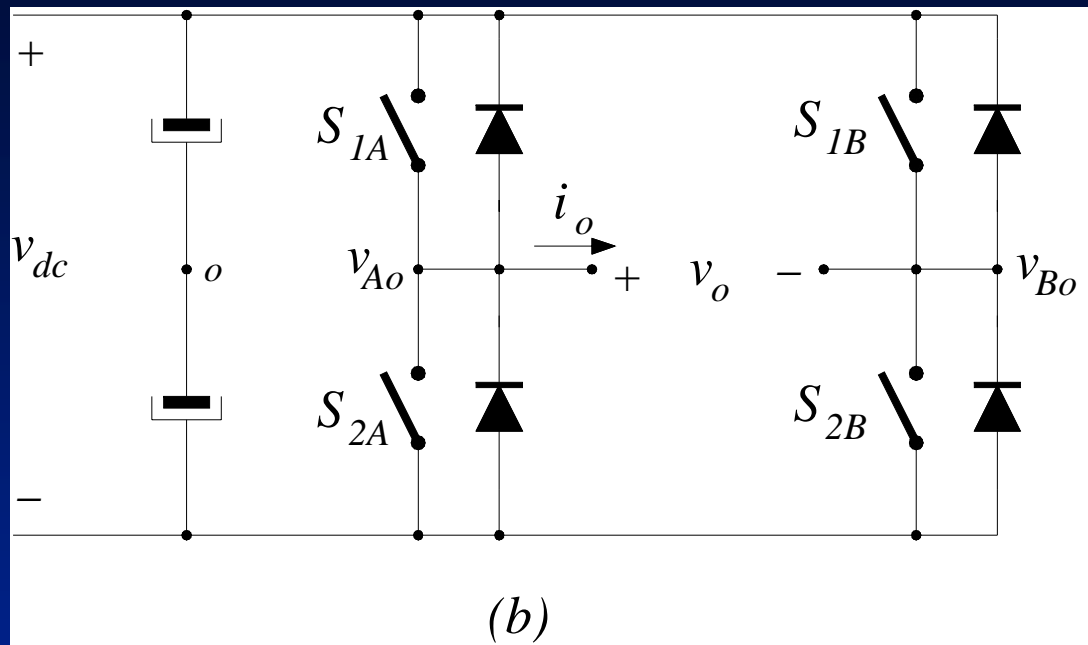


Invertitore monofase a ponte intero

Si può realizzare un invertitore monofase di tensione (a ponte “ad H”) unendo due invertitori monofase di tensione a due livelli che utilizzano la stessa alimentazione

Convertitore full bridge (ponte intero)

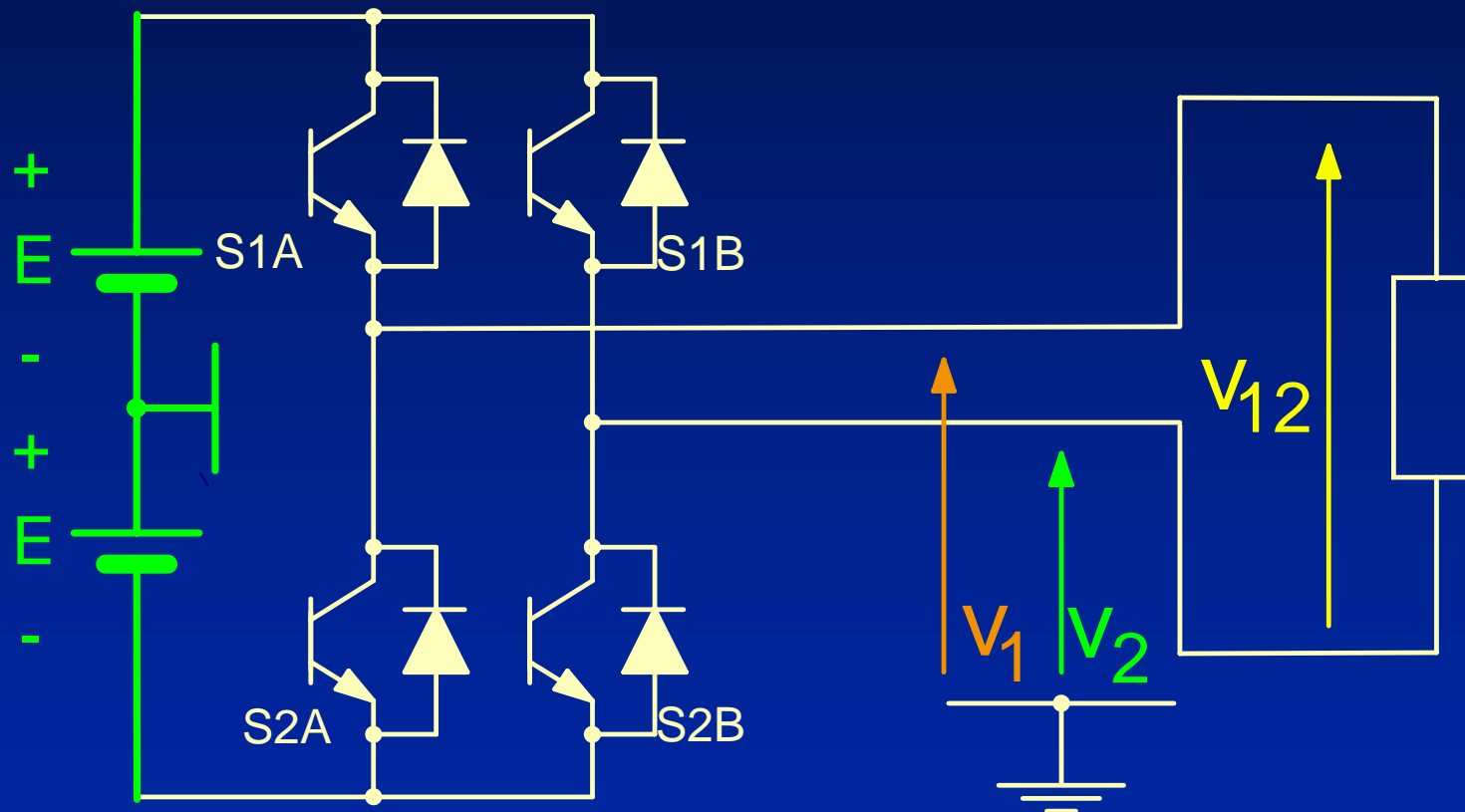
23
55

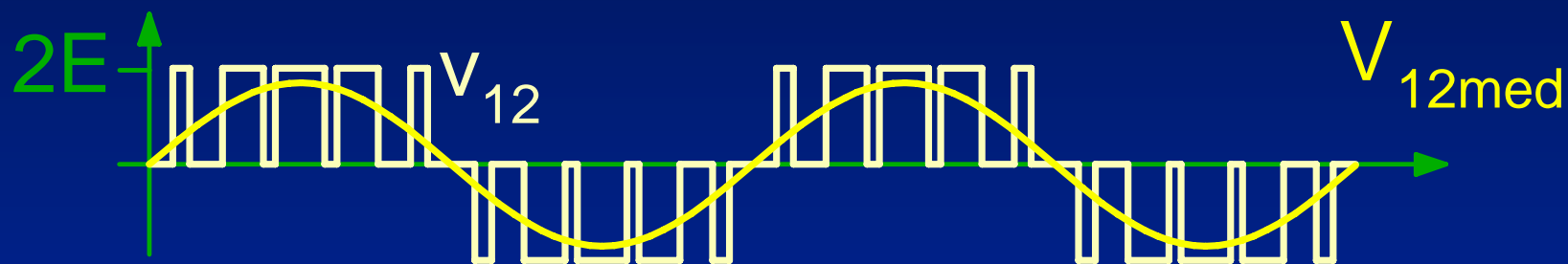
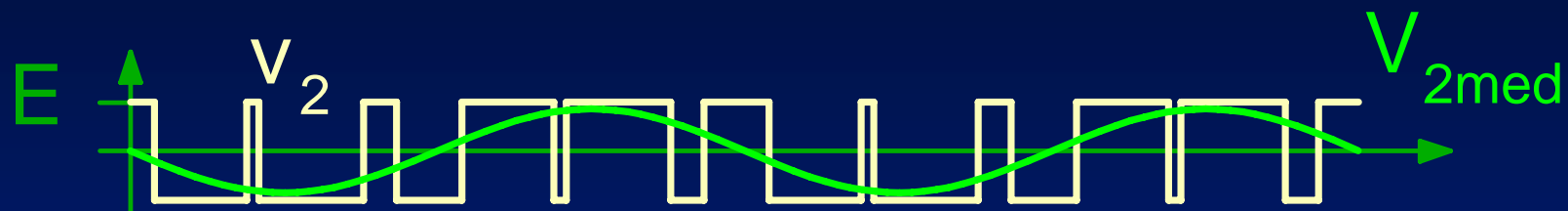
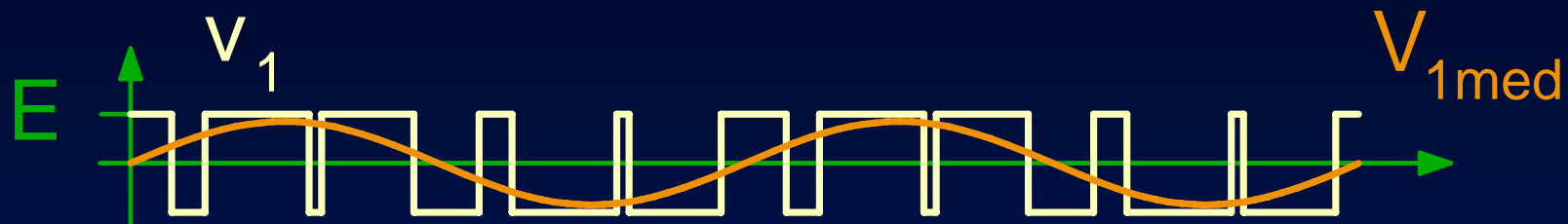


MODULAZIONE A DUE LIVELLI: gli interruptori del ramo A vengono comandati in modo complementare rispetto a quelli del ramo B

Invertitore di tensione monofase a PWM

Generazione di tensione a tre livelli

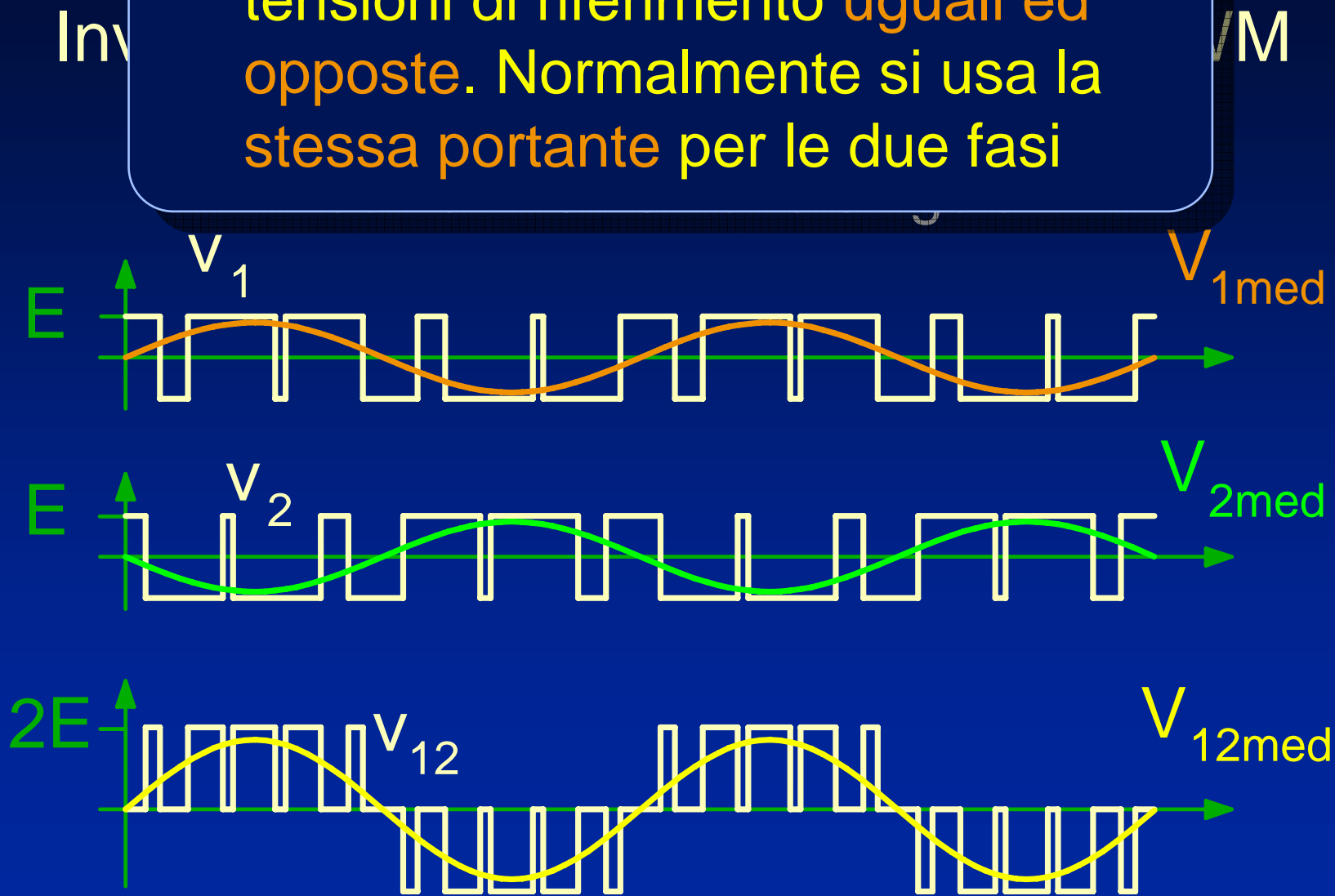




$V_{1med} > V_{tri}$	S_{1A} ON	$V_1 = E$
$V_{1med} < V_{tri}$	S_{2A} ON	$V_1 = -E$
$(-V_{1med}) > V_{tri}$	S_{1B} ON	$V_2 = E$
$(-V_{1med}) < V_{tri}$	S_{2B} ON	$V_2 = -E$

S_{1A}, S_{2B} ON	$V_1 = E$	$V_2 = -E$	$V_{12} = 2E$
S_{2A}, S_{1B} ON	$V_1 = -E$	$V_2 = E$	$V_{12} = -2E$
S_{1A}, S_{1B} ON	$V_1 = E$	$V_2 = E$	$V_{12} = 0$
S_{2A}, S_{2B} ON	$V_1 = -E$	$V_2 = -E$	$V_{12} = 0$

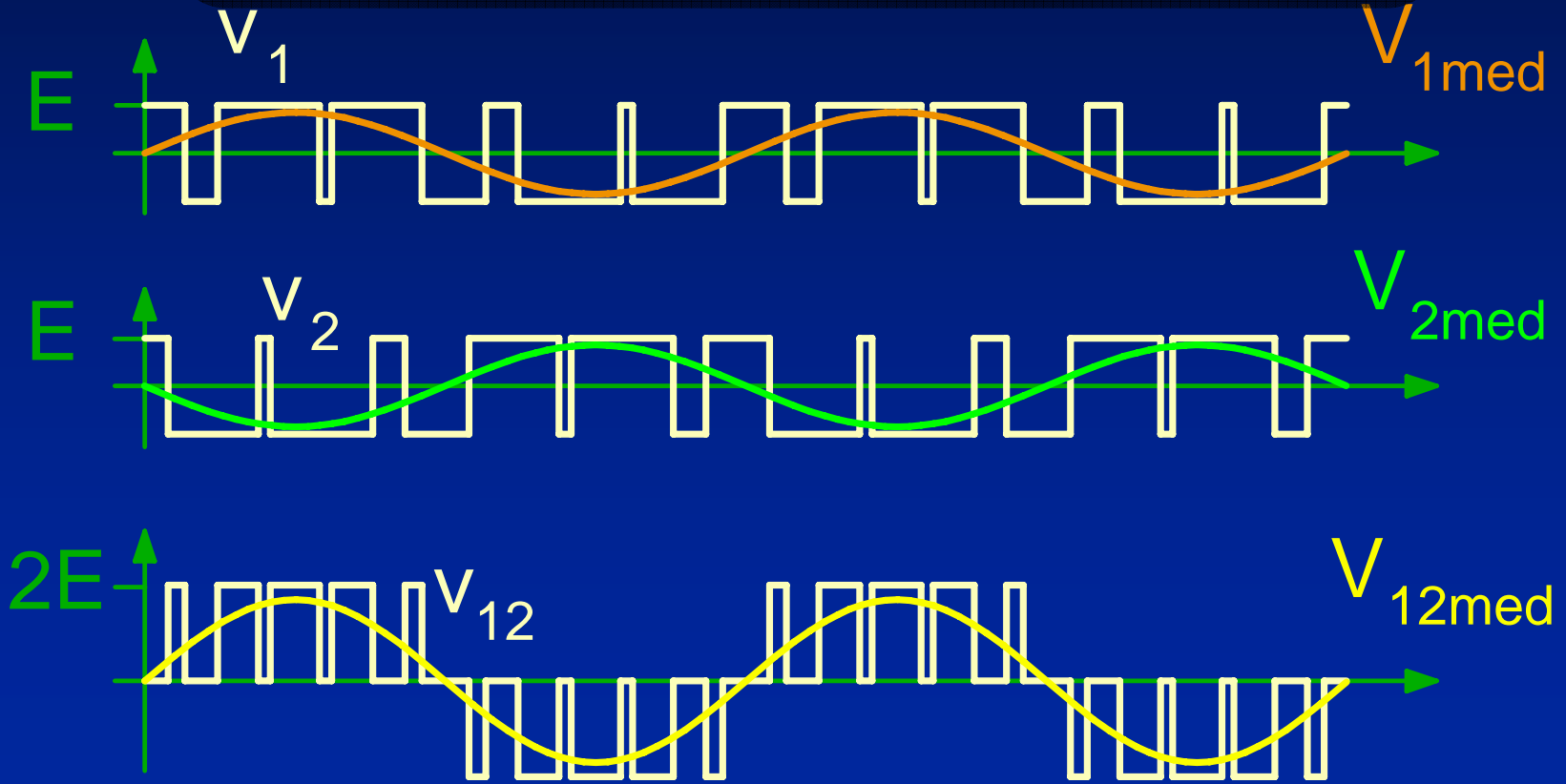
Le due fasi sono modulate con tensioni di riferimento uguali ed opposte. Normalmente si usa la stessa portante per le due fasi



Per generare tensioni medie positive si modula la tensione istantanea v_o tra 0 e $2E$ e per generare tensioni medie negative tra 0 e $-2E$.

In

M

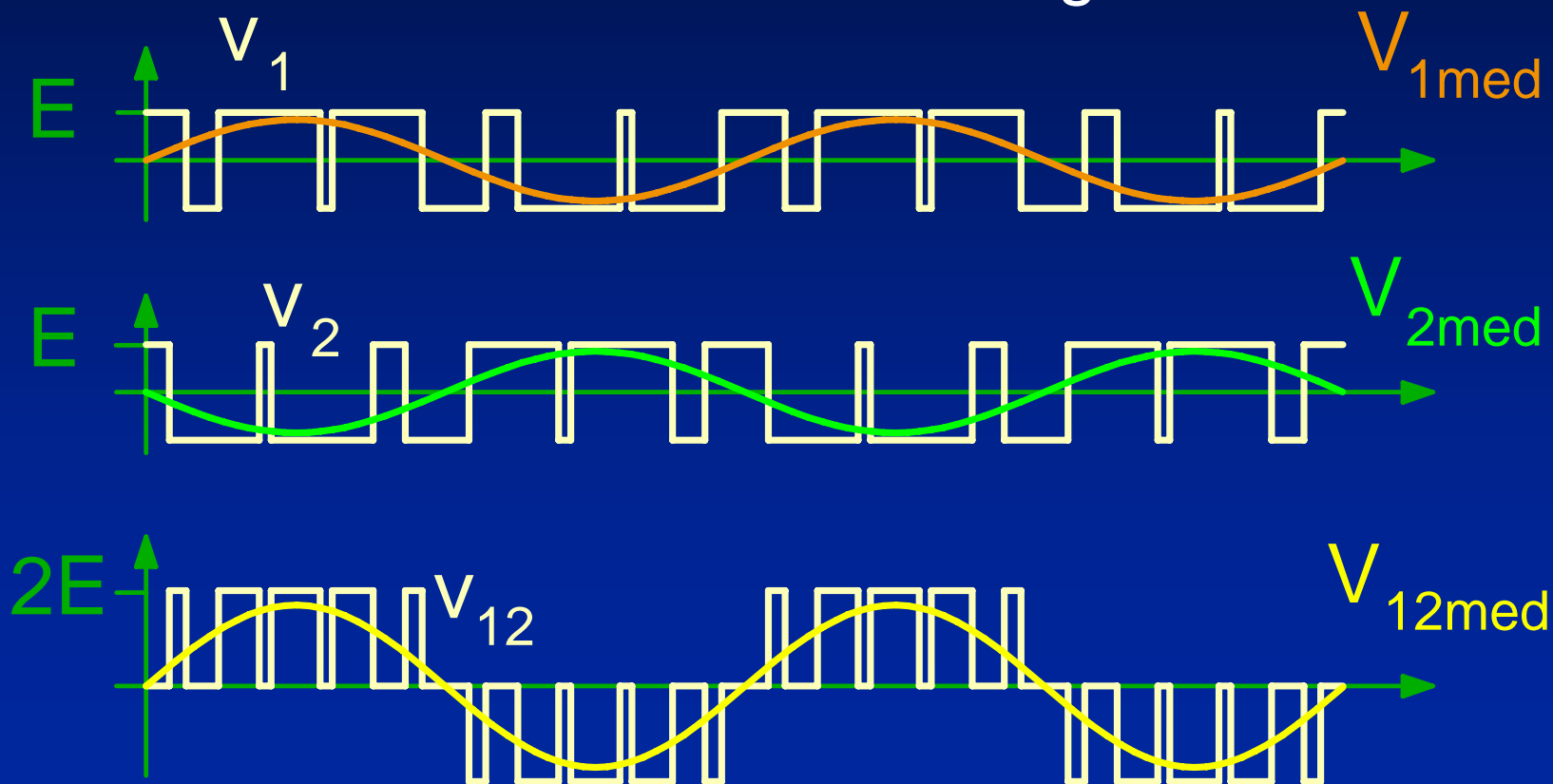


La frequenza di commutazione vista dal carico è doppia rispetto a quella di commutazione degli interruttori.

Inv

/M

Generazione di tensione a tre livelli
con alimentazione singola



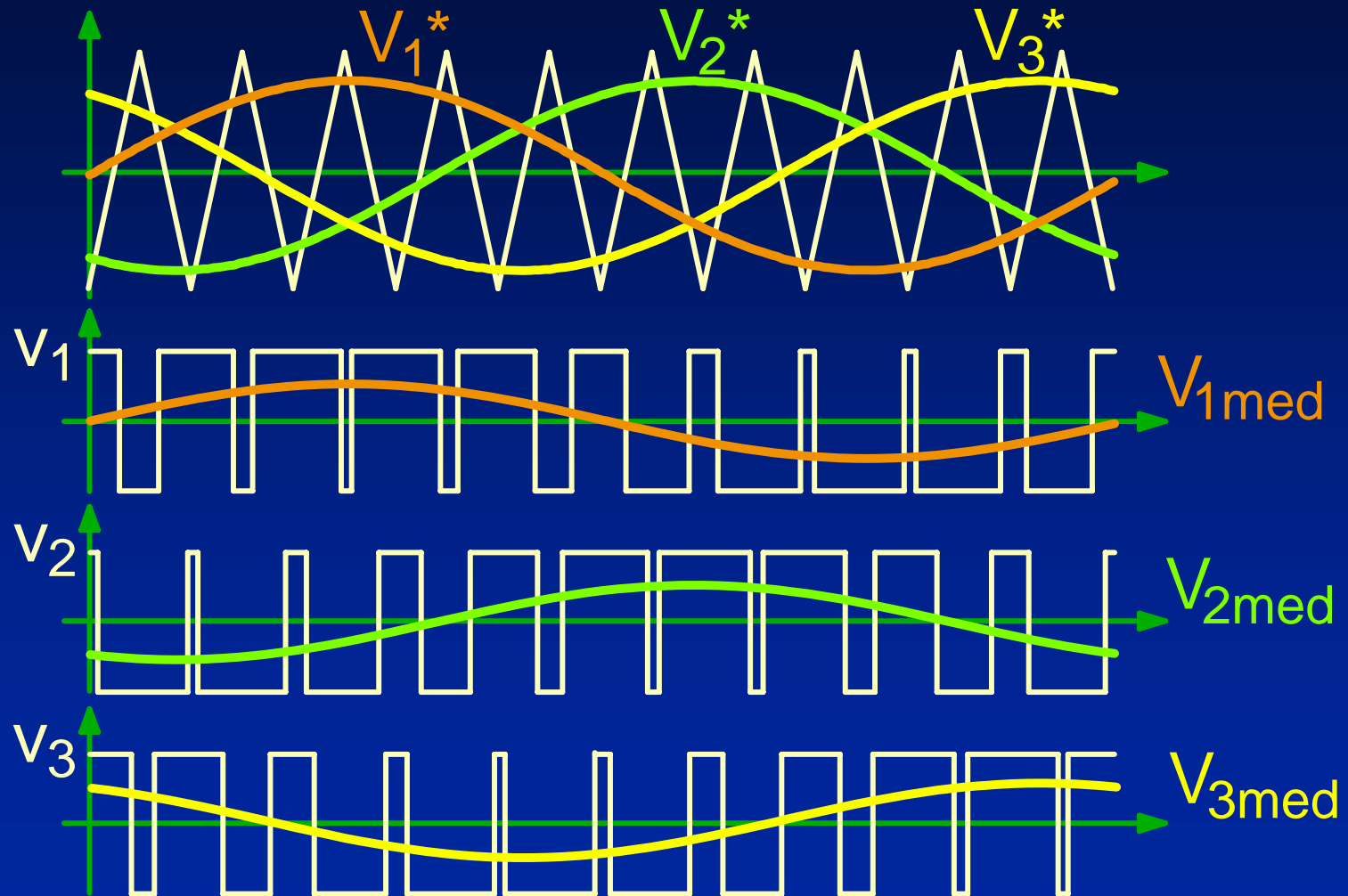
Invertitore trifase di tensione a PWM

Generazione di tre tensioni indipendenti a due livelli

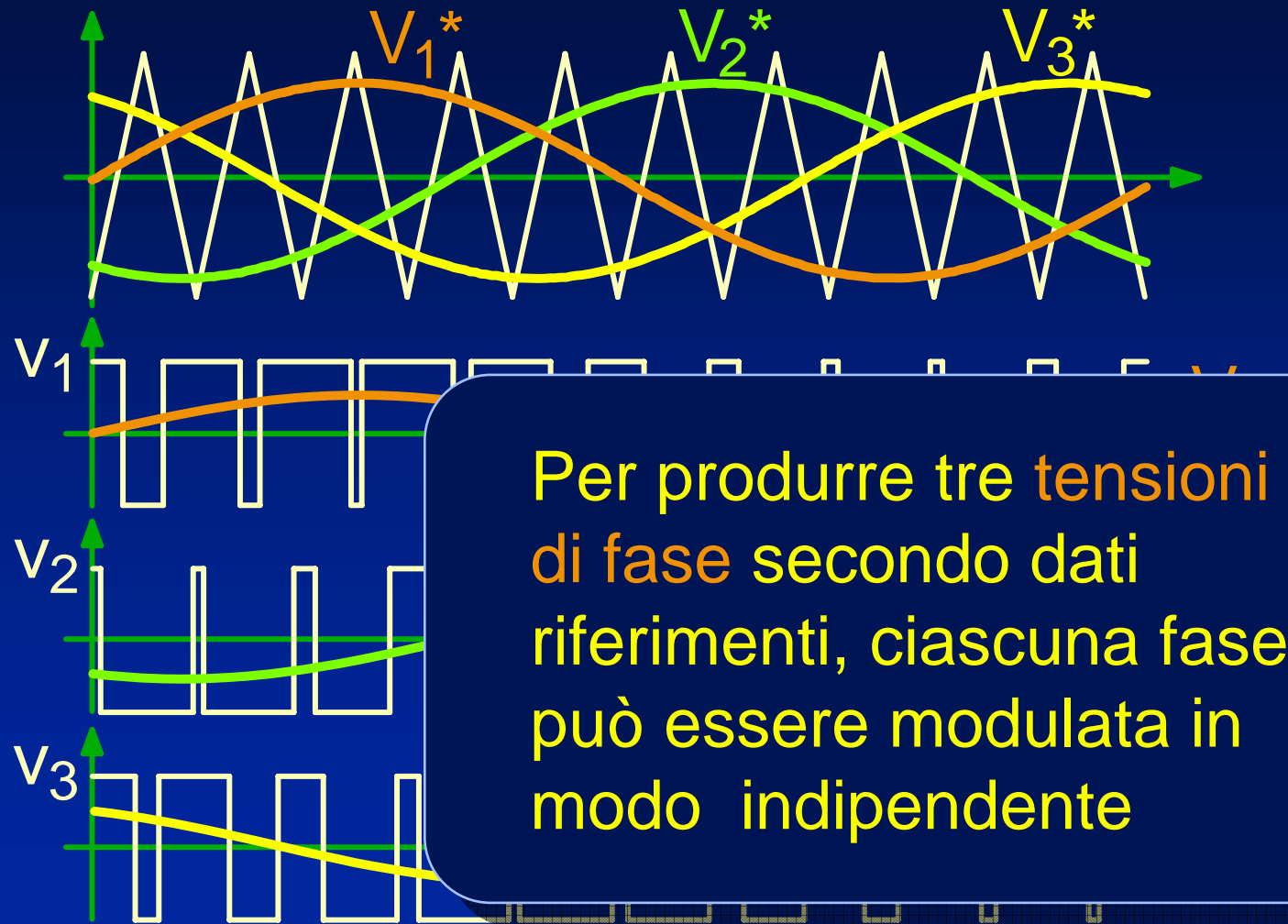


Si ottiene un invertitore trifase di tensione a PWM con tre invertitori monofase di tensione a due livelli che utilizzano la stessa alimentazione

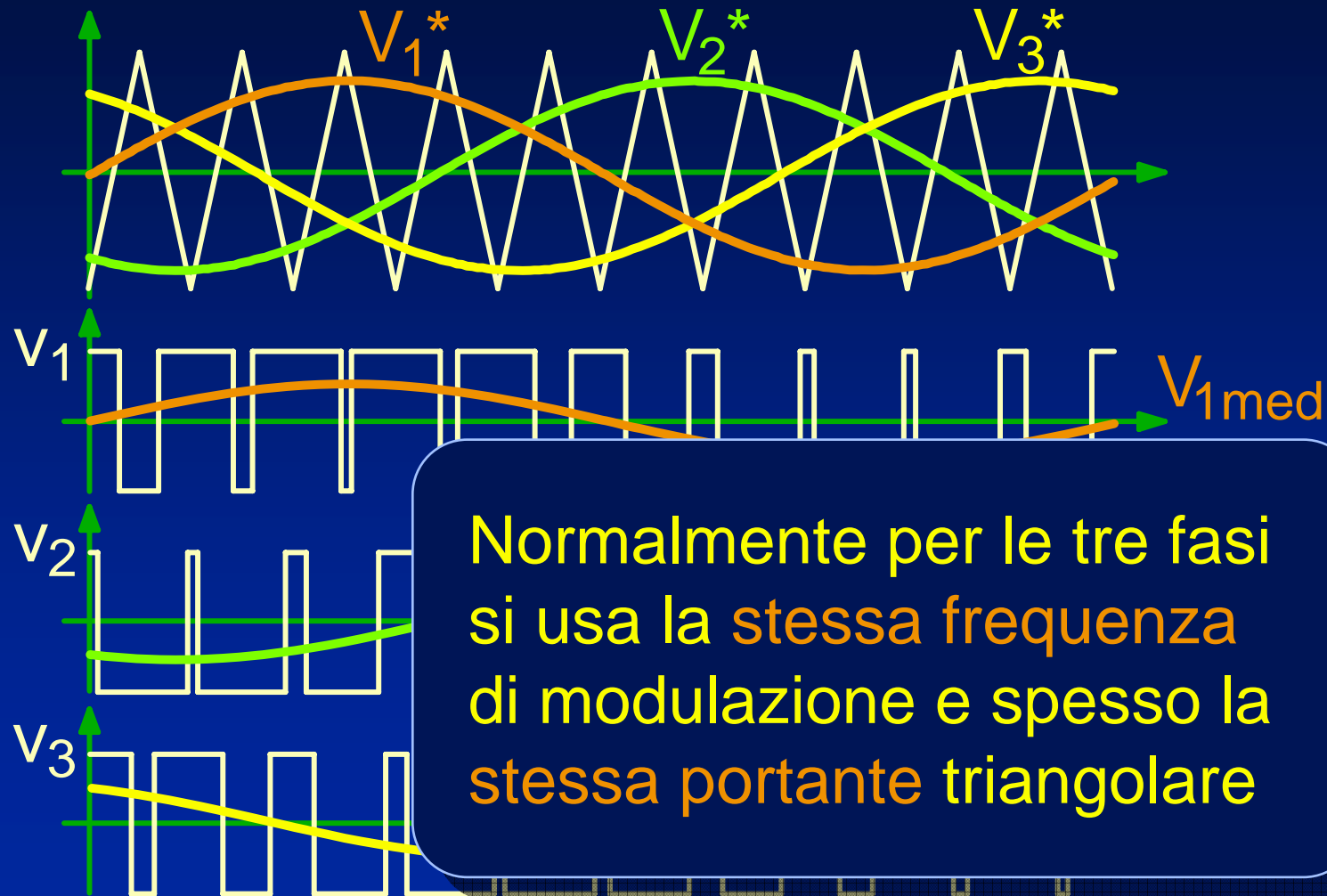
Invertitore trifase di tensione a PWM



Invertitore trifase di tensione a PWM

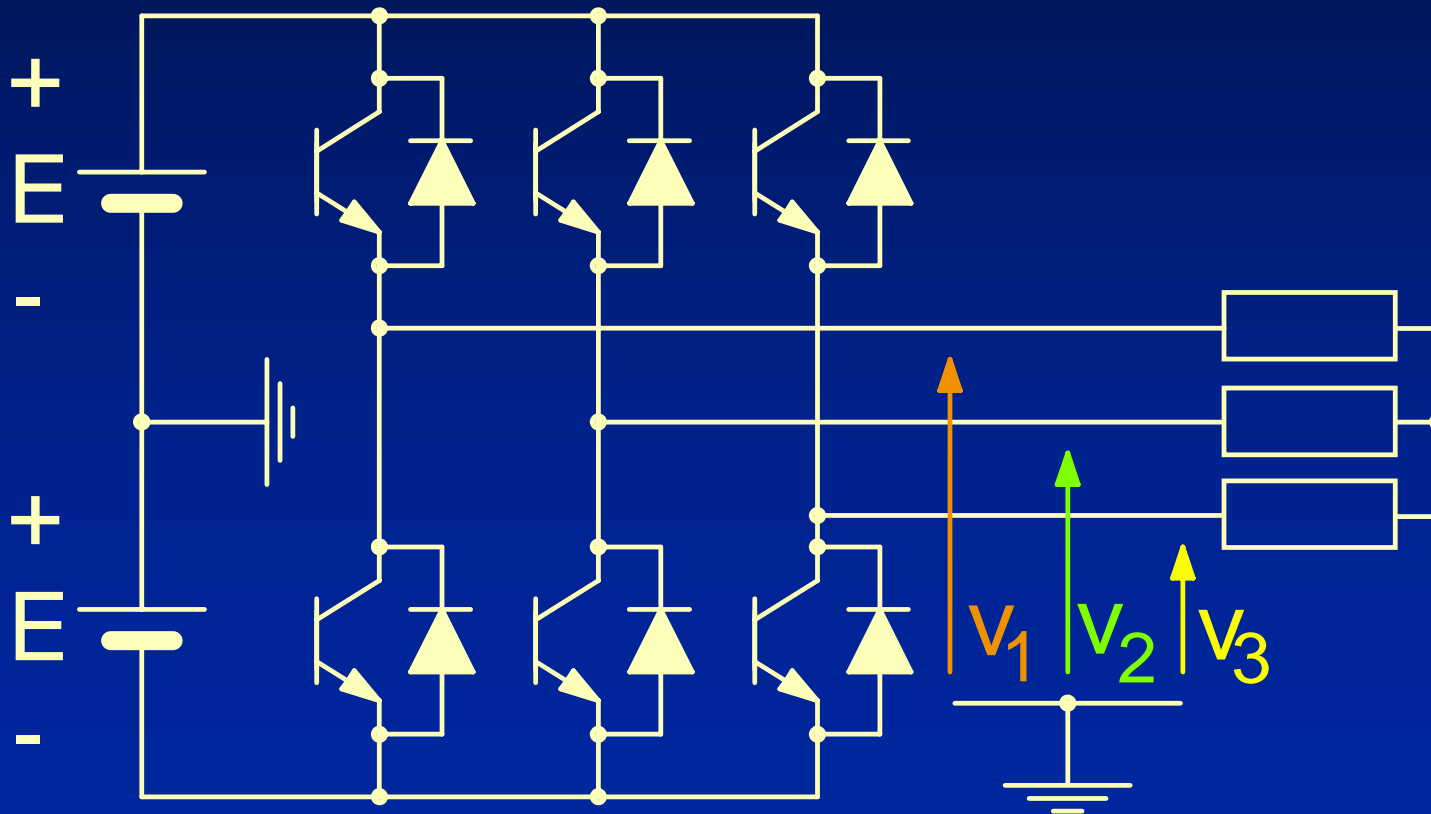


Invertitore trifase di tensione a PWM



Invertitore di tensione trifase a PWM

Generazione di tre tensioni indipendenti a due livelli



Invertitore di tensione trifase a PWM

Generazione di tre tensioni indipendenti a due livelli

Se il carico è privo di connessione di centro stella si può usare un'unica tensione di alimentazione

