

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

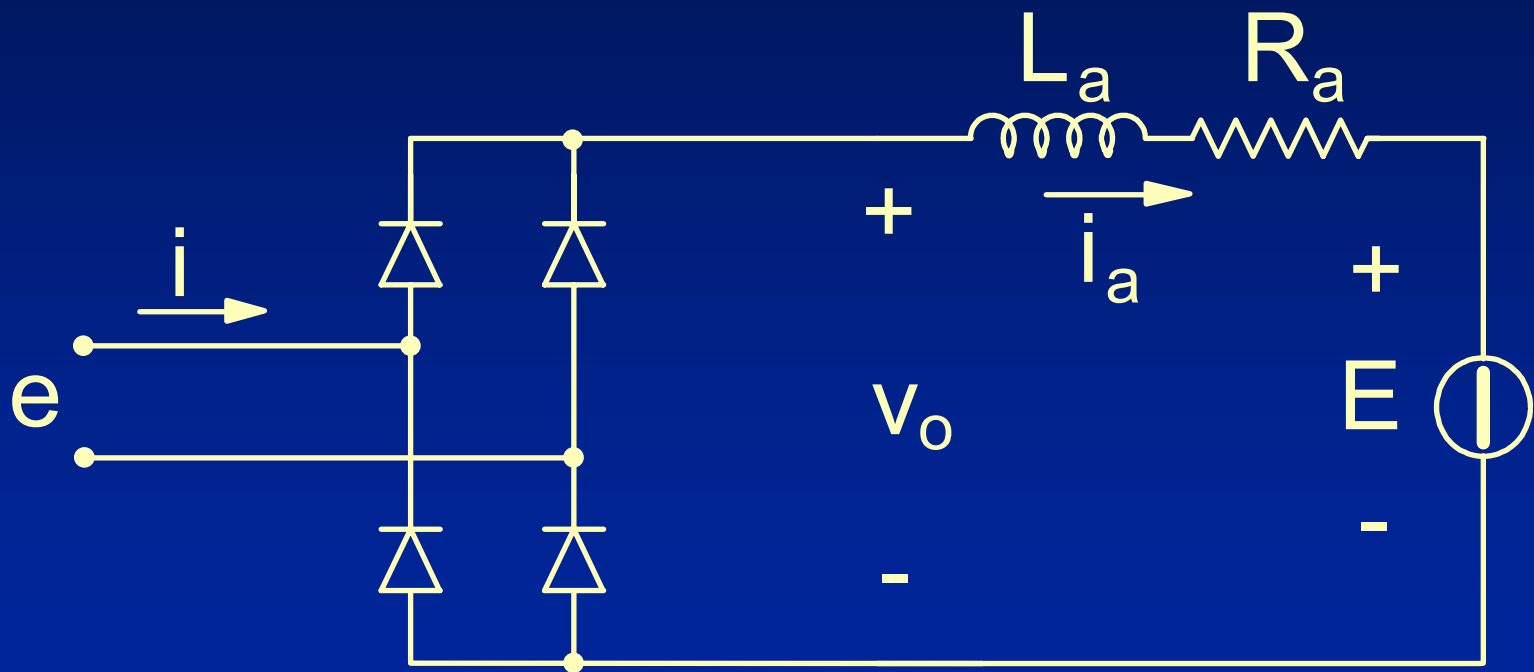
CONVERTITORI CA/CC A TIRISTORI

Convertitori alternata / continua

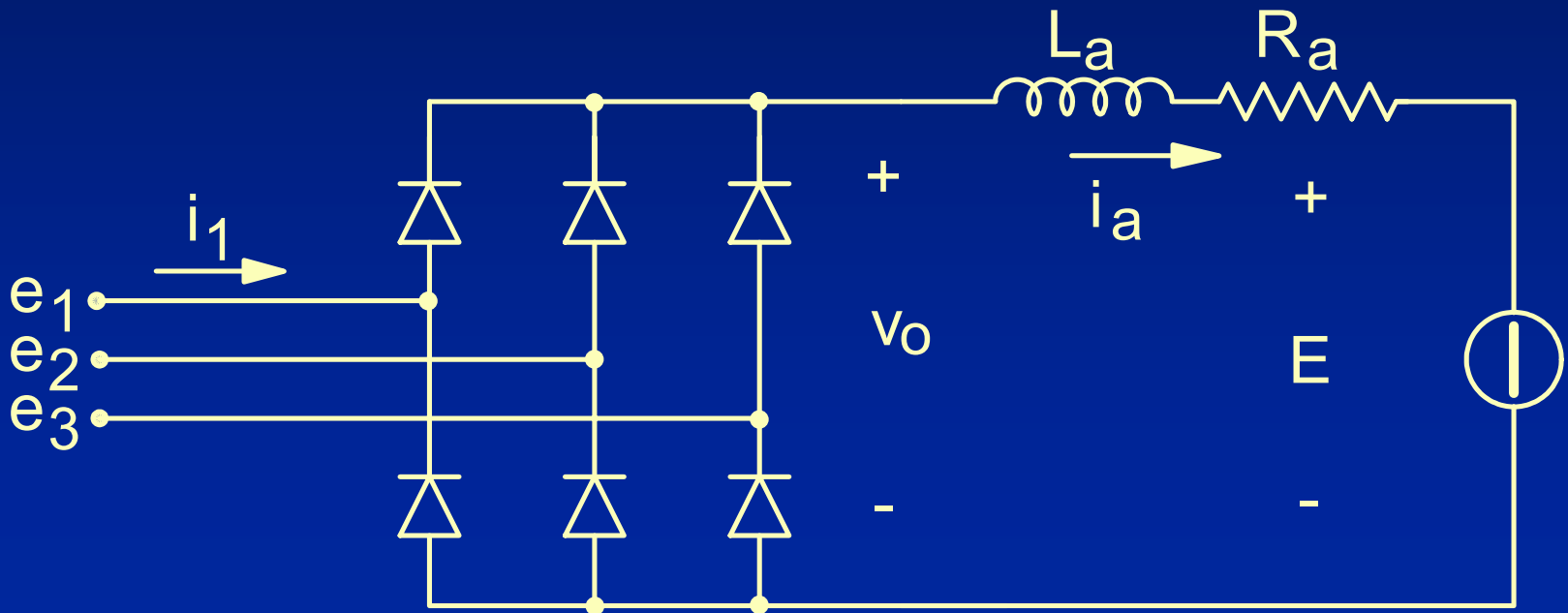
Per la conversione dalla corrente alternata monofase o trifase alla corrente continua si usano spesso schemi a ponte di Graetz

Si usano diodi di potenza per realizzare convertitori non controllati e tiristori per i convertitori controllati. Schemi ibridi sono attualmente poco comuni

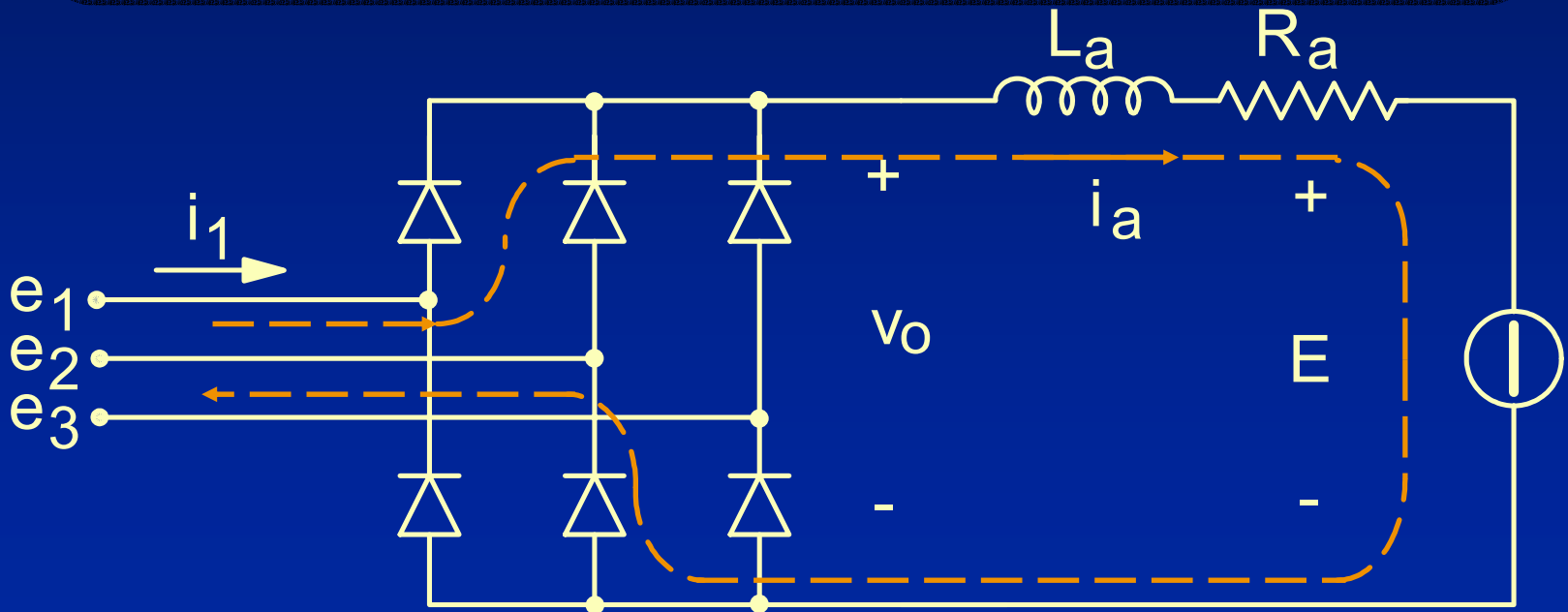
Ponte di Graetz monofase non controllato



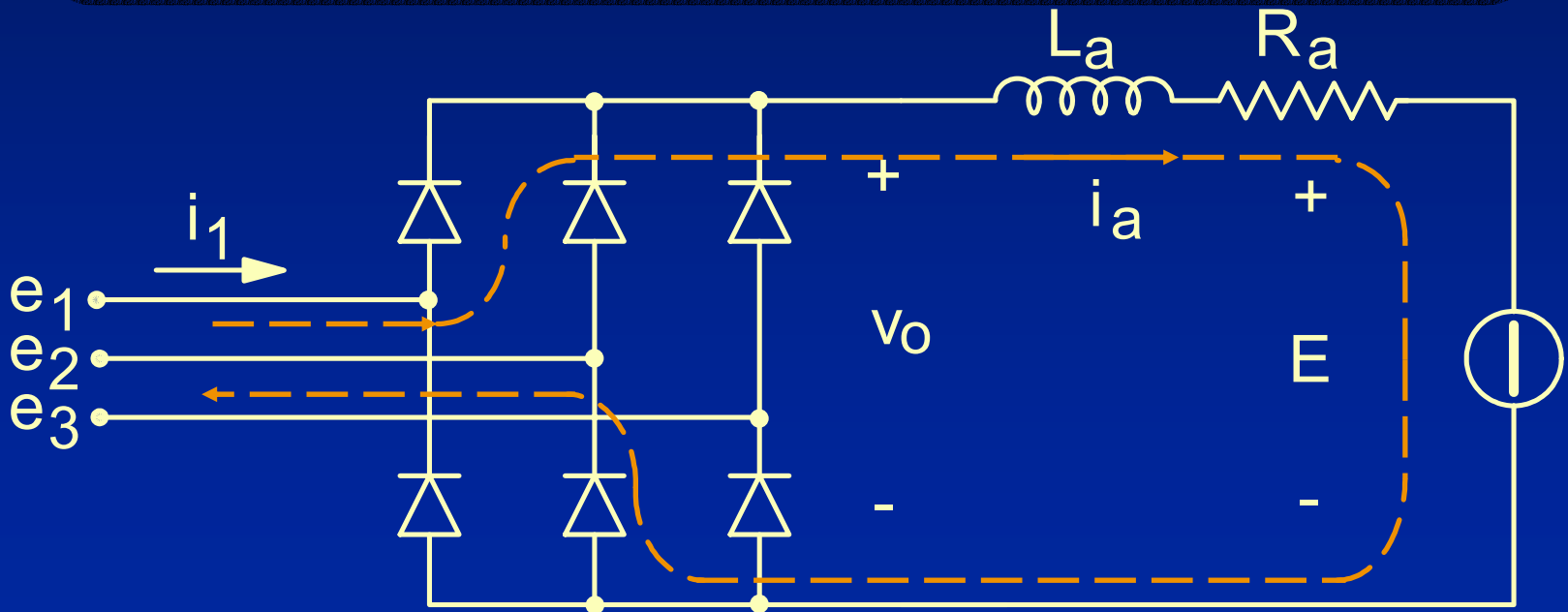
Ponte di Graetz trifase non controllato



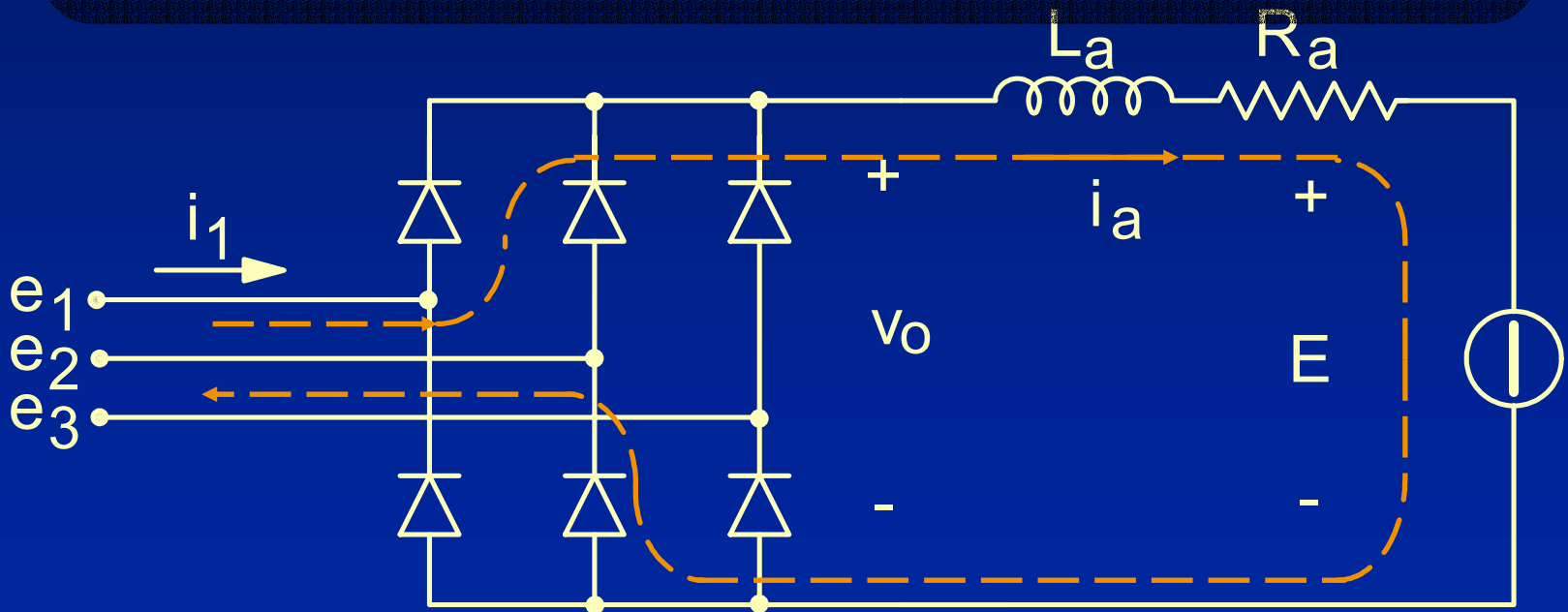
Nella parte superiore del ponte, conduce il diodo connesso alla fase la cui tensione istantanea è massima e, nella parte inferiore, il diodo connesso alla fase la cui tensione istantanea è minima



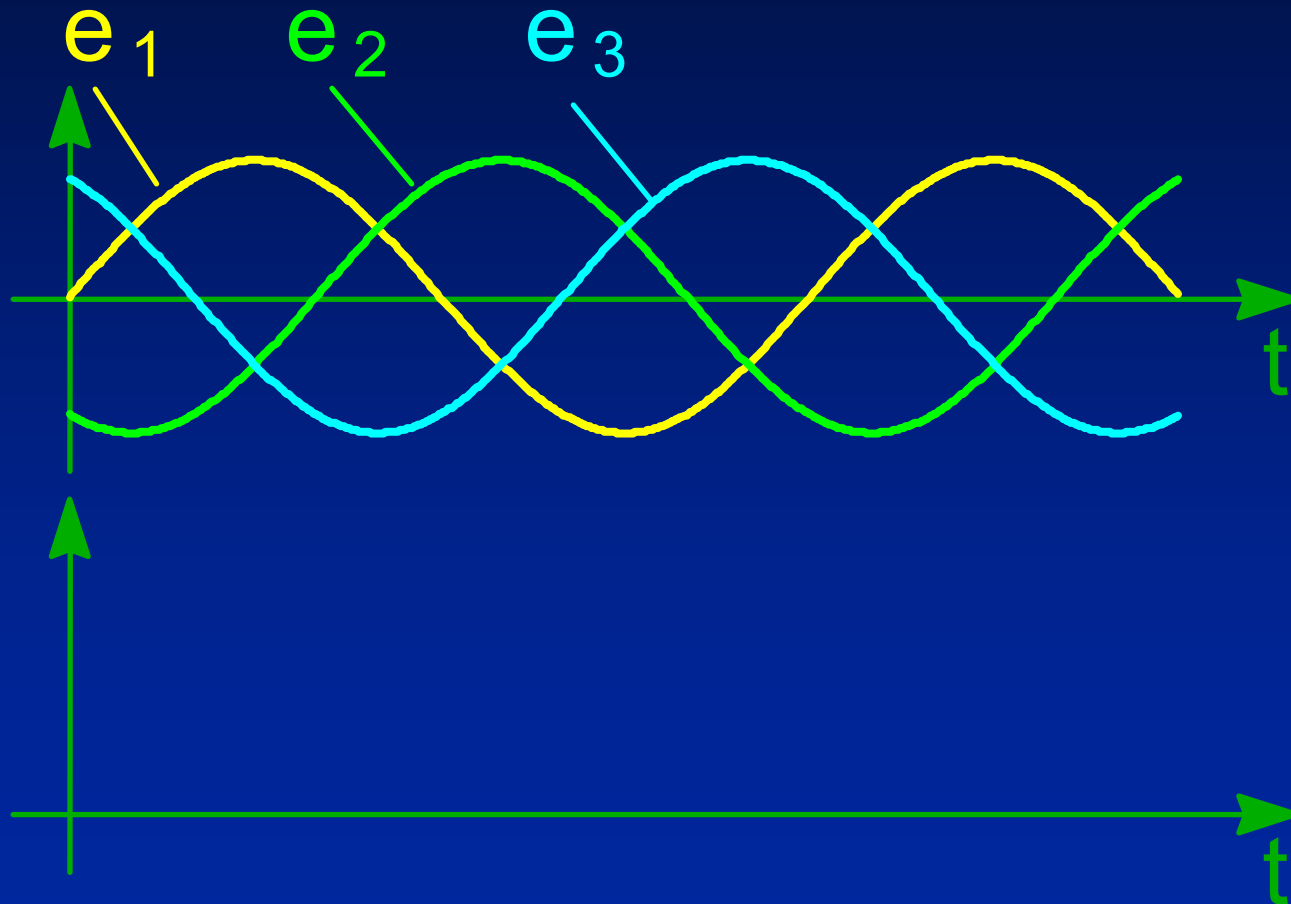
Vi sono sempre solo due diodi in conduzione contemporanea, uno nella parte superiore ed uno nella parte inferiore del ponte



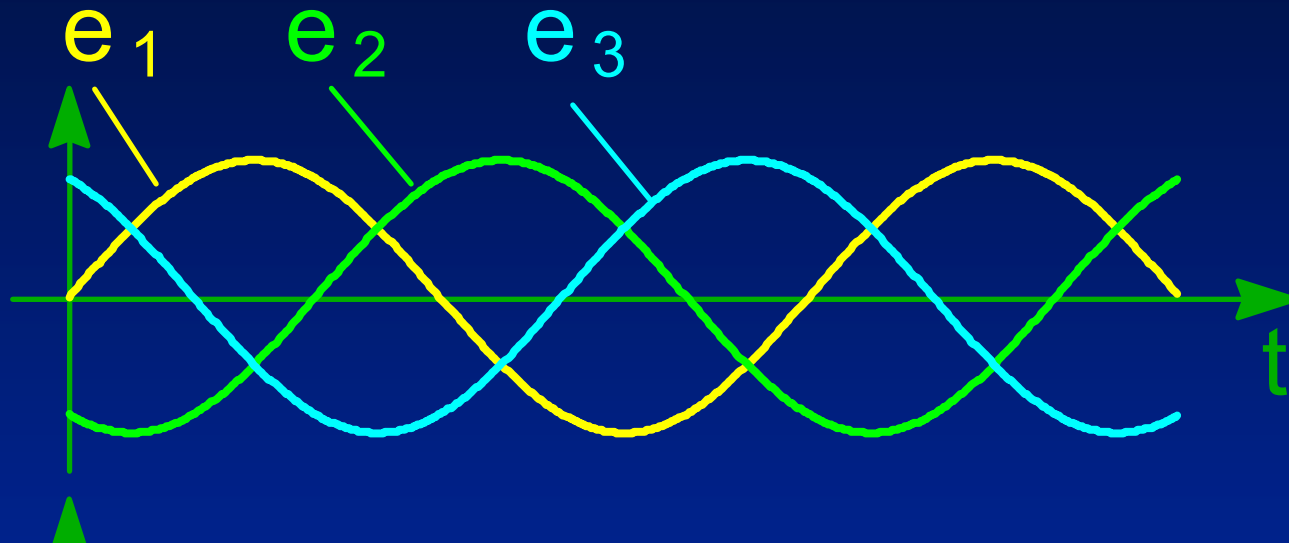
Il passaggio della conduzione da un diodo all'altro (**commutazione**) avviene naturalmente all'incrocio tra le forme d'onda delle tensioni di due fasi successive



Ponte di Graetz trifase non controllato

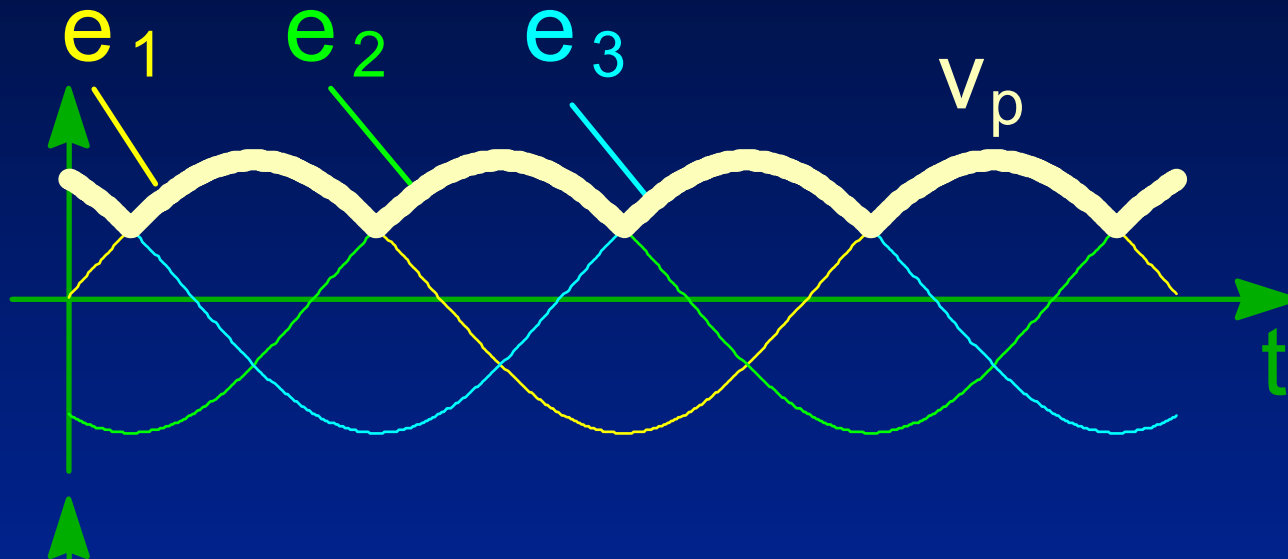


Ponte di Graetz trifase non controllato



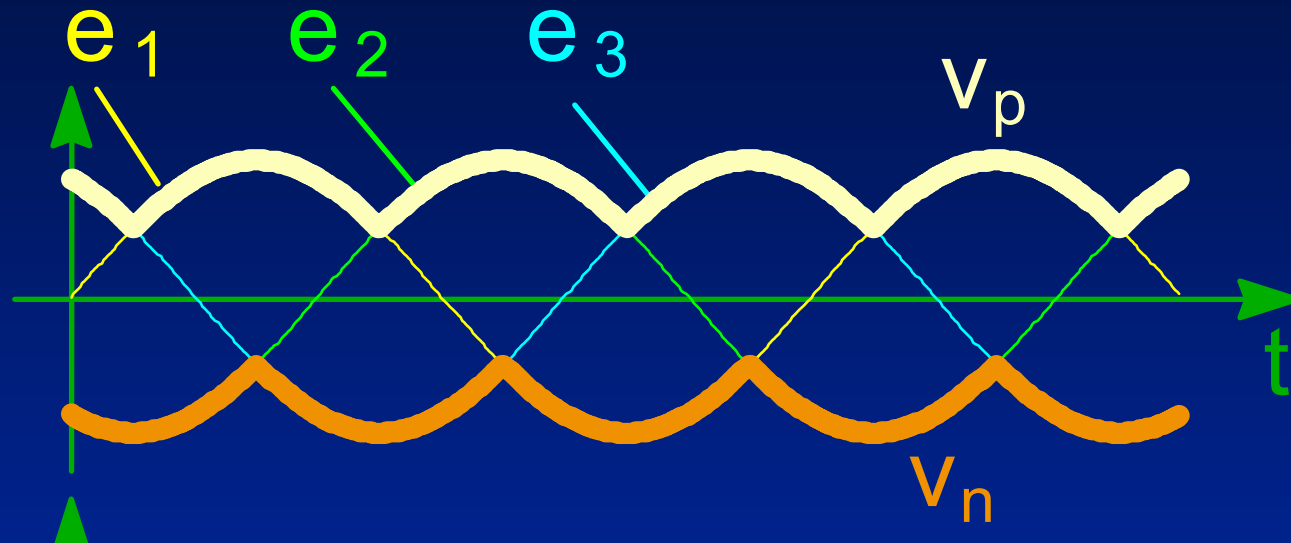
Nel circuito in continua, l'uscita positiva segue la tensione della fase con valore istantaneo massimo

Ponte di Graetz trifase non controllato



Nel circuito in continua, l'uscita positiva segue la tensione della fase con valore istantaneo massimo

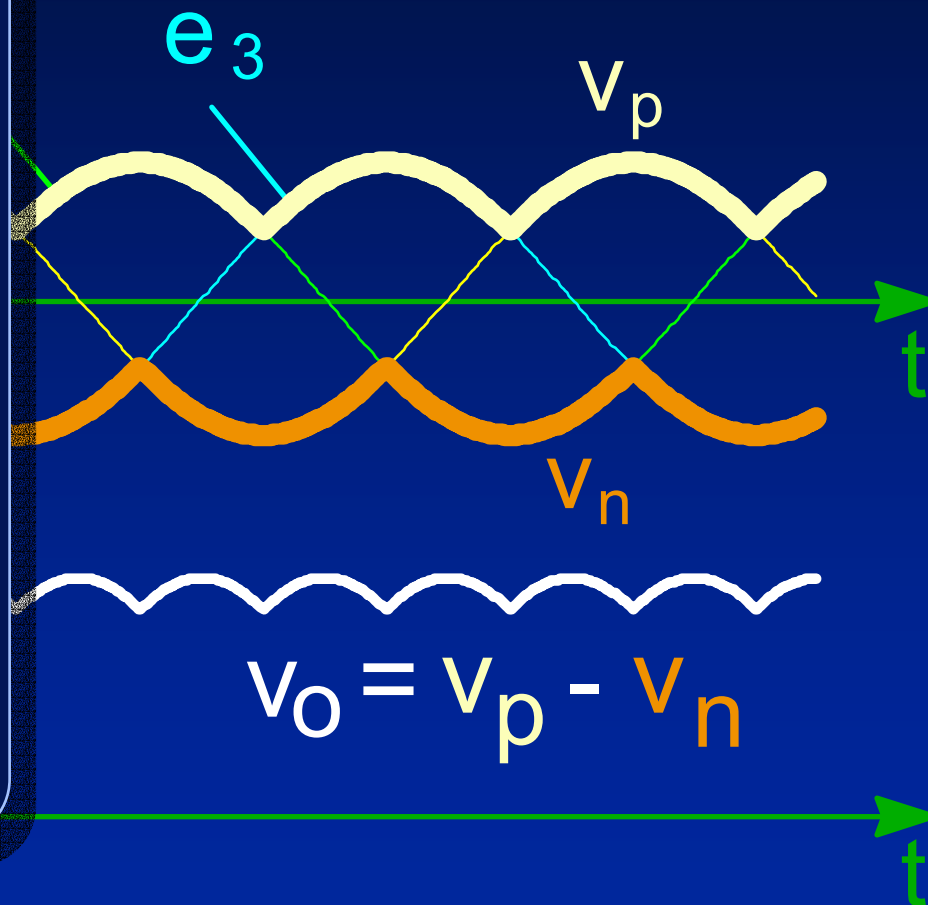
Ponte di Graetz trifase non controllato



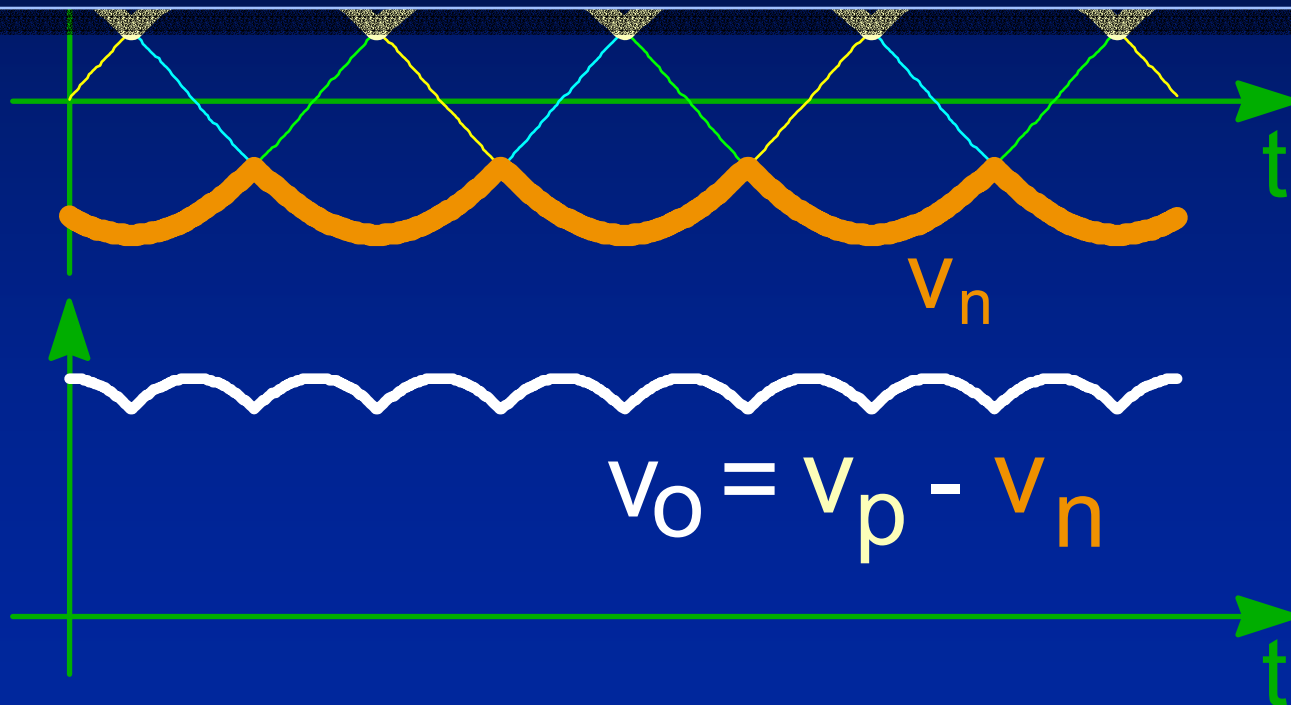
Similmente, l'uscita negativa segue la tensione della fase con valore istantaneo minimo

Ponte di Graetz trifase non controllato

La tensione continua si ottiene dalla differenza fra le tensioni dell'uscita positiva e di quella negativa



La tensione continua presenta una
ondulazione, a frequenza sei volte quella
di rete, sovrapposta al suo valore medio

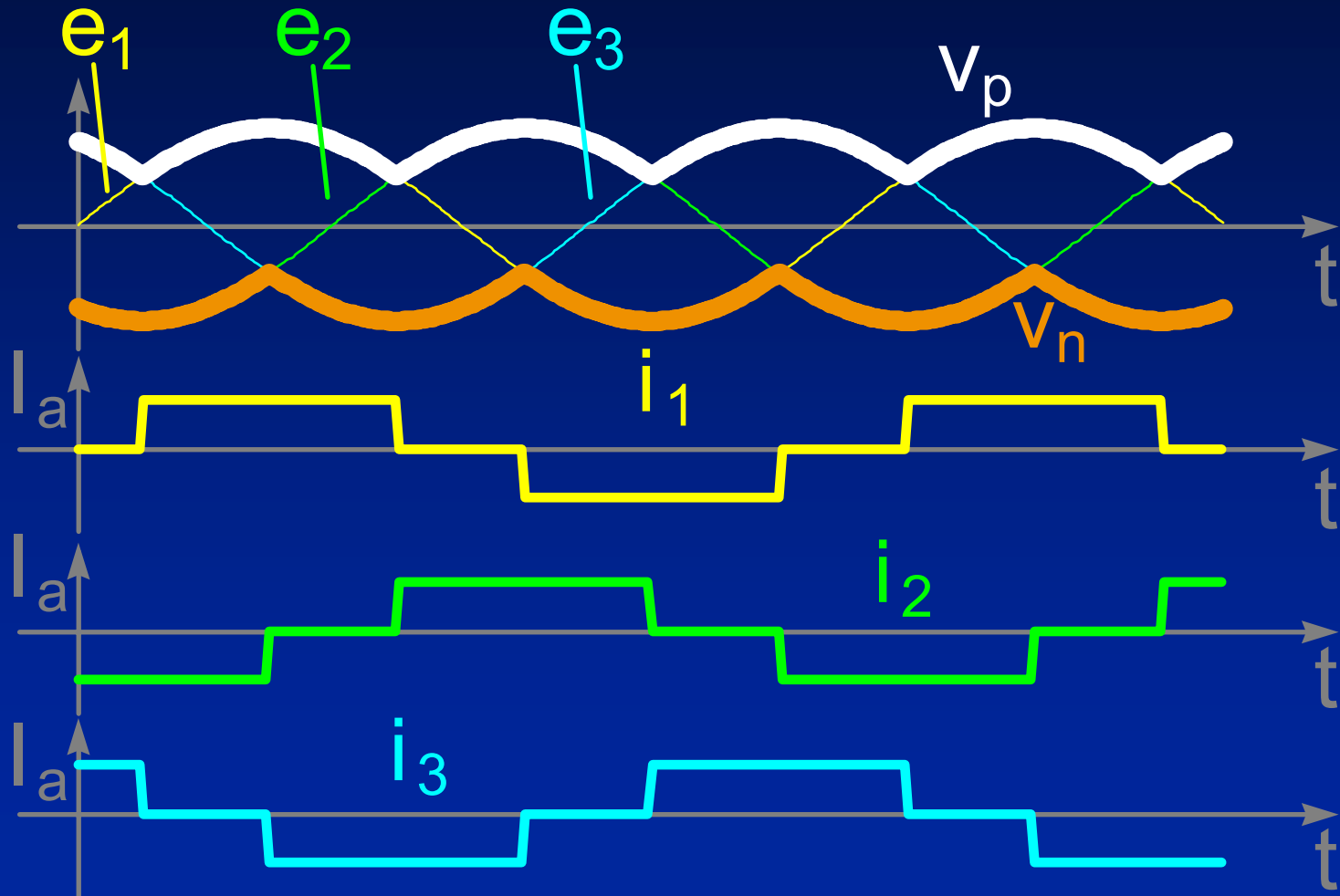


Ponte di Graetz trifase non controllato

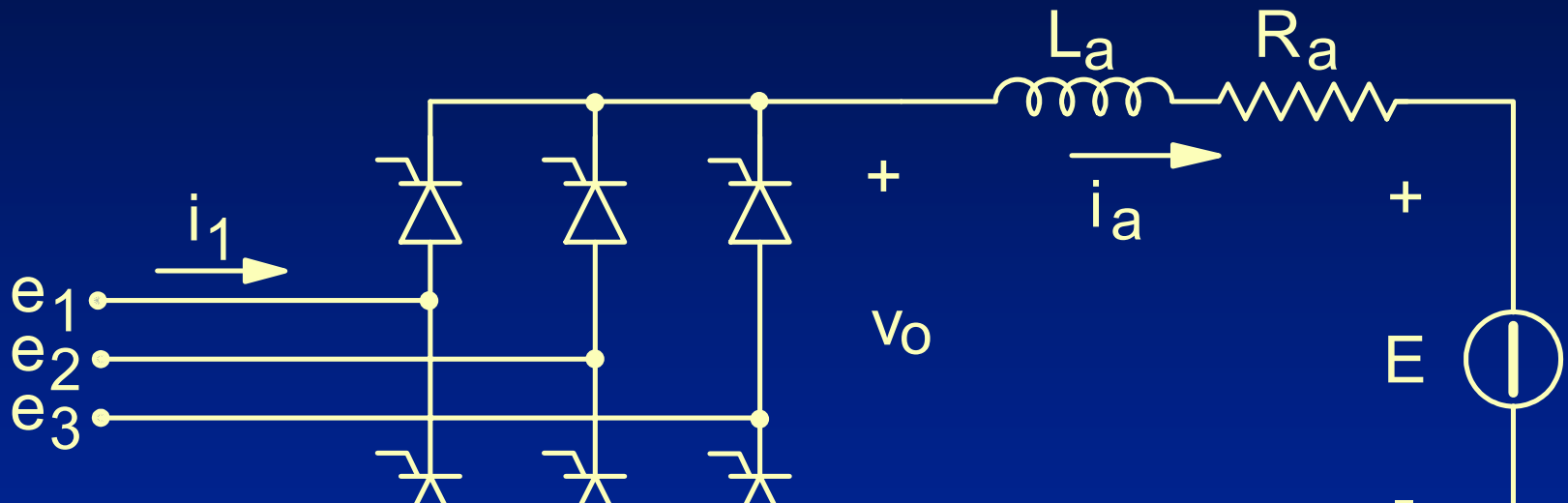
In un ponte di Graetz trifase, ogni fase conduce per **120 gradi** sia in senso positivo che negativo. Invece per un ponte monofase le fasi conducono in ciascun senso per **180 gradi**

Con **elevato** valore dell'induttanza di carico l'**oscillazione** della corrente di uscita è **ridotta** e nelle fasi si hanno correnti con forma d'onda prossima a quella **rettangolare**, in fase con le rispettive tensioni

Ponte di Graetz trifase non controllato

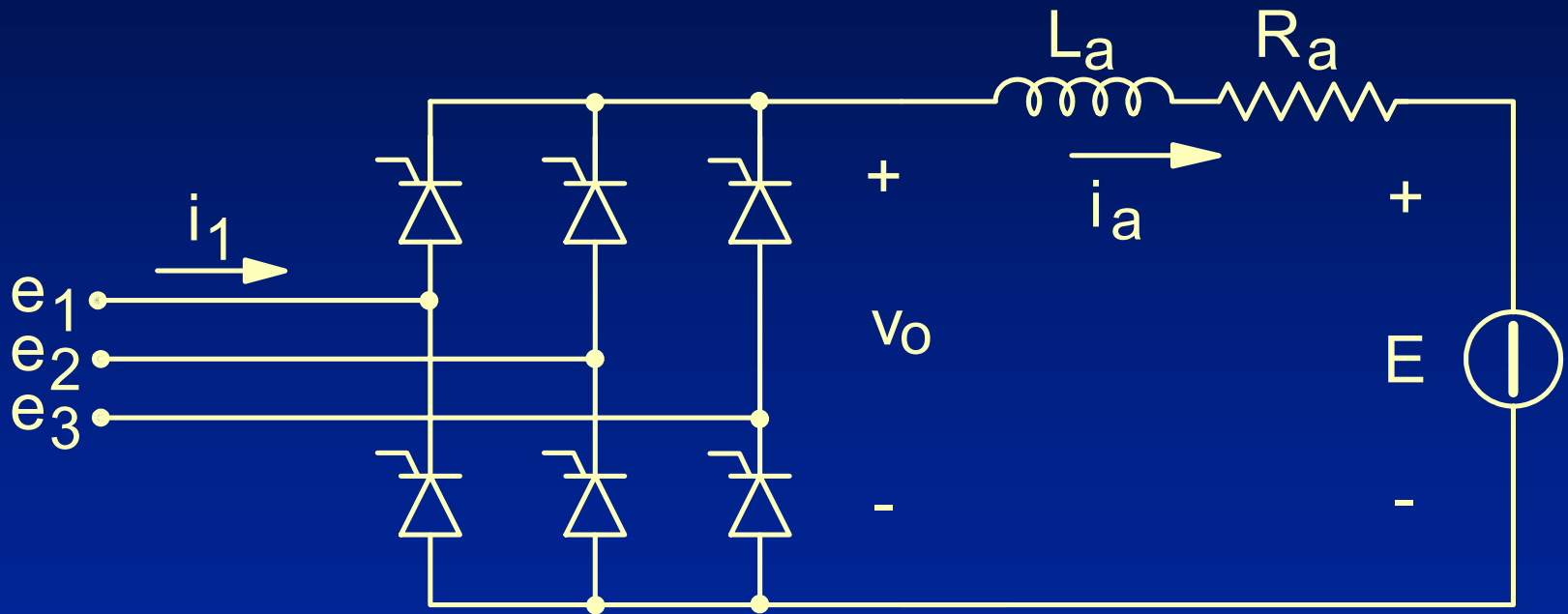


Ponte di Graetz trifase controllato

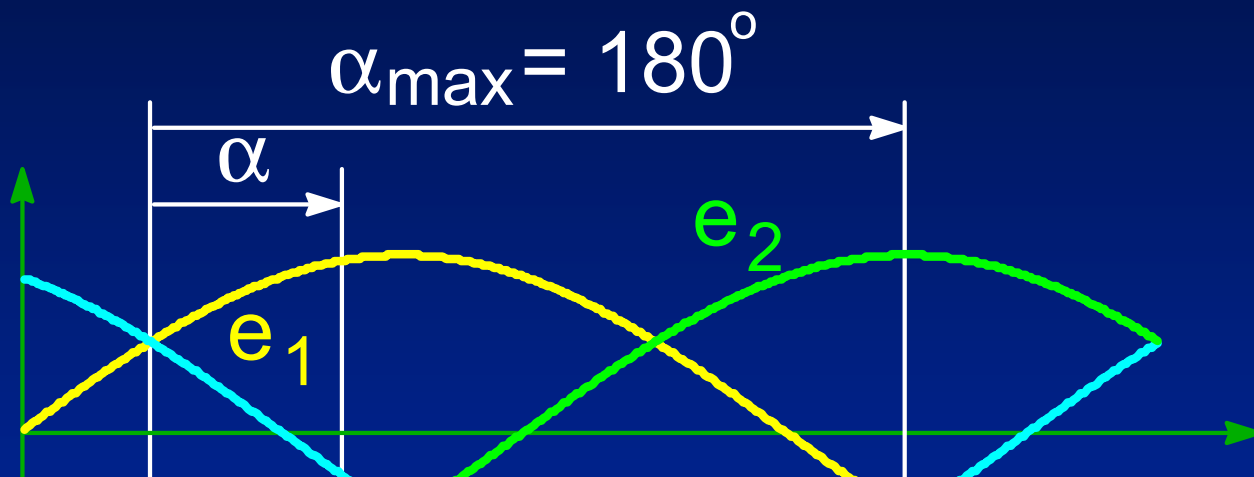


Sostituendo, sia nei ponti monofase che in quelli trifase, tutti i diodi con tiristori si ottengono ponti **totalmente controllati**

Ponte di Graetz trifase controllato

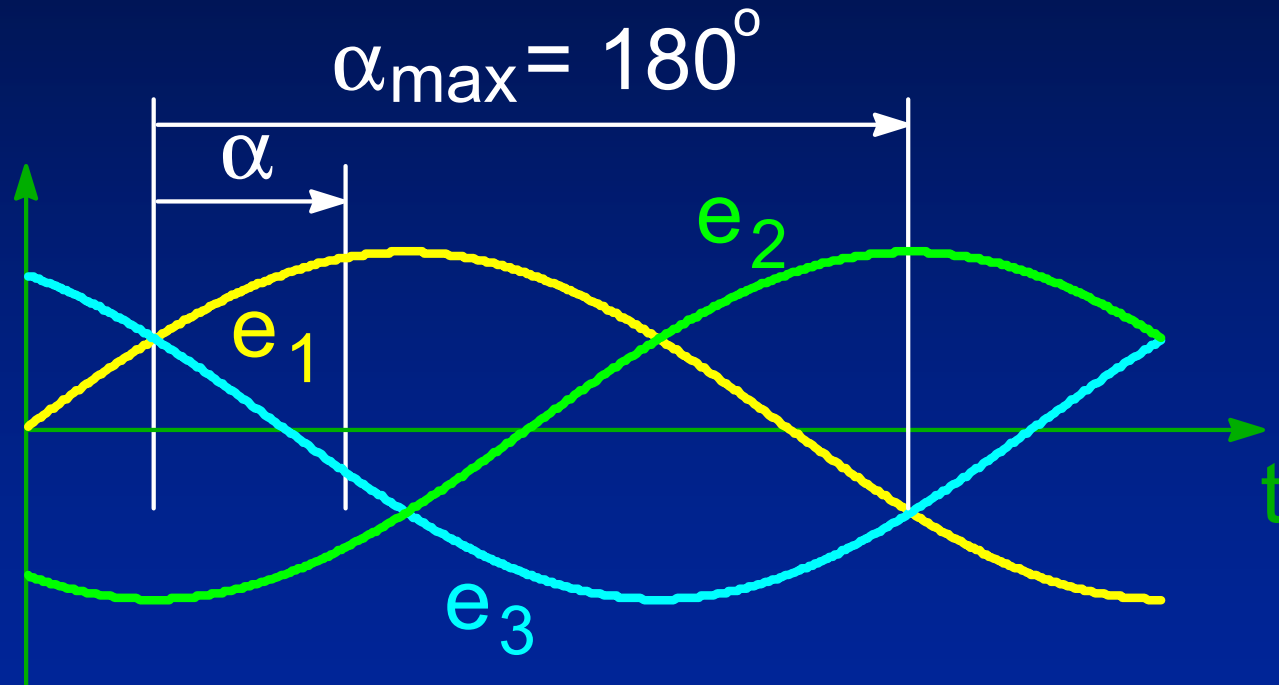


Ponte di Graetz trifase controllato

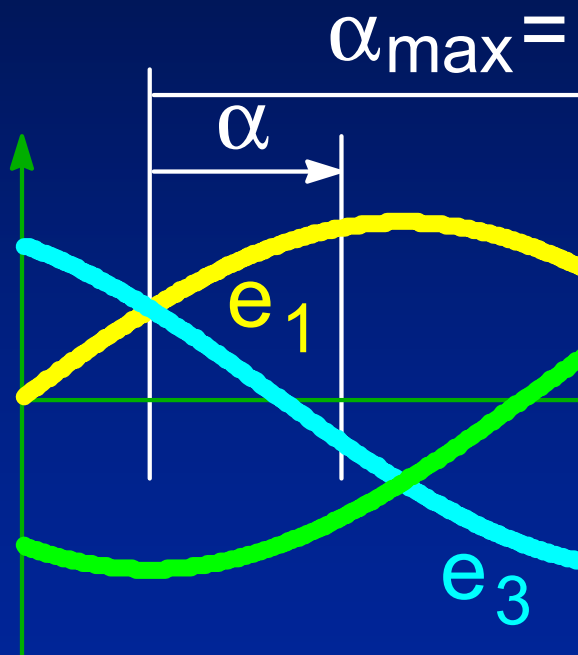


I tiristori consentono di ritardare l'istante di commutazione, cioè di passaggio della conduzione da una fase alla successiva

Ponte di Graetz trifase controllato

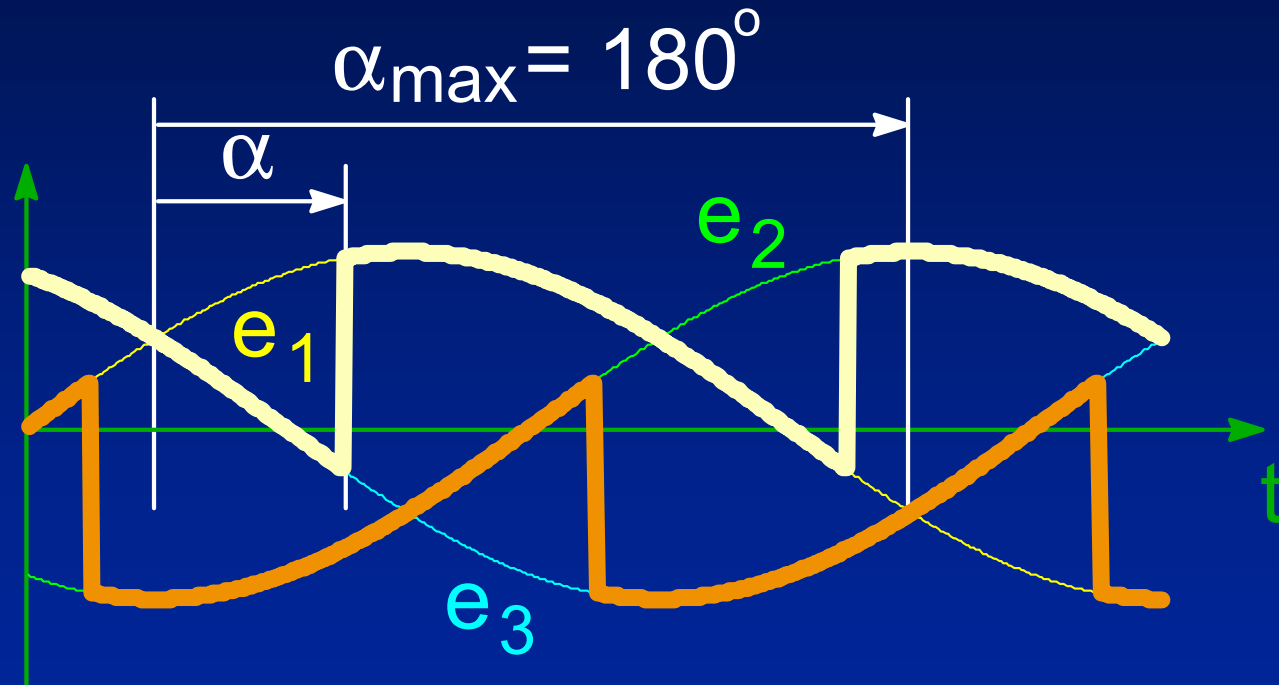


Ponte di Graetz trifase controllato



La commutazione si ottiene dando un comando di accensione ad ogni tiristore, sia nel semiponte positivo che in quello negativo, ritardato di un angolo α rispetto all'istante di commutazione naturale

Ponte di Graetz trifase controllato



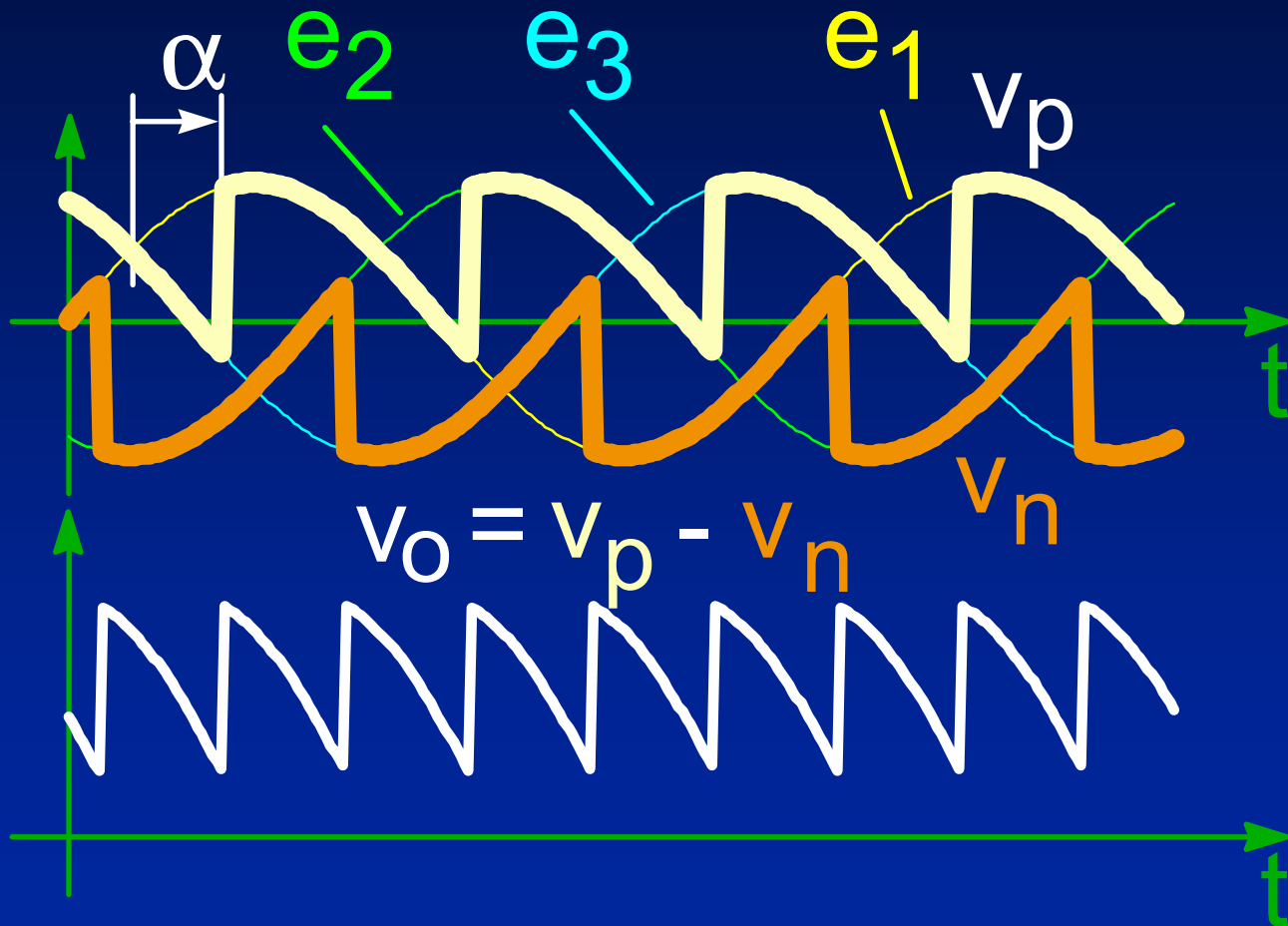
Ponte di Graetz trifase controllato

L'accensione del tiristore comandato provoca la polarizzazione inversa e quindi lo spegnimento (**naturale**) del tiristore che era in conduzione nello stesso semiponte

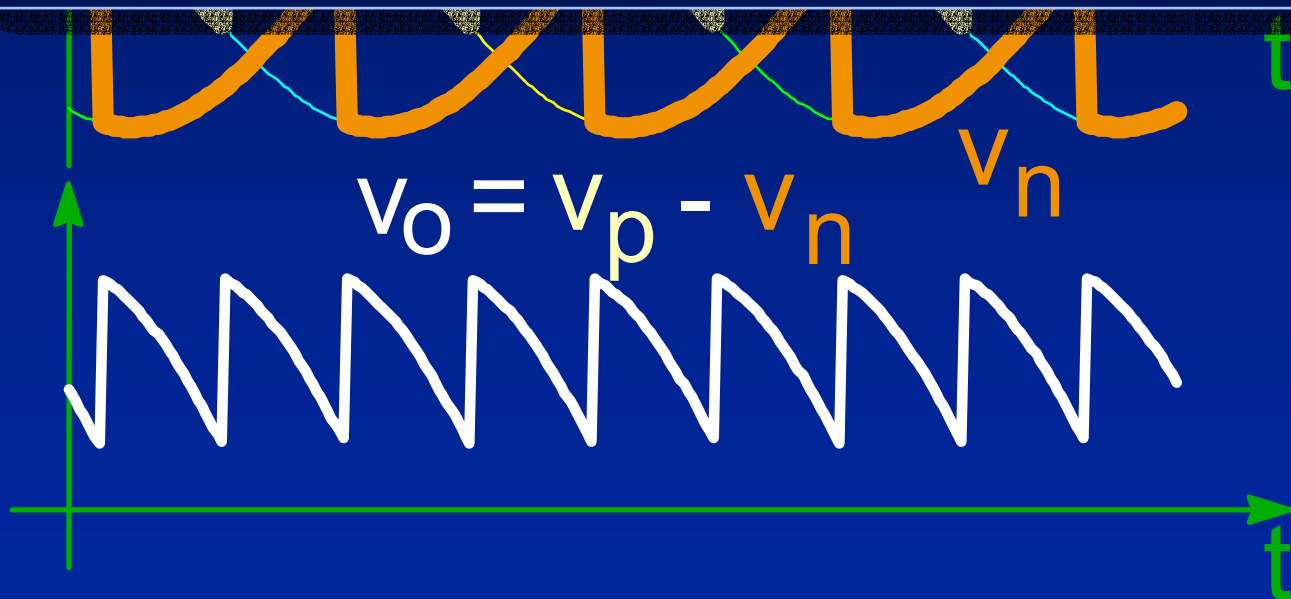
Nel ponte trifase le commutazioni successive, che si alternano tra il semiponte positivo e quello negativo, sono sfasate di **60 gradi**

Il ritardo di commutazione provoca **fronti ripidi** nella forma d'onda della tensione prodotta sul carico in c.c.

Ponte di Graetz trifase controllato

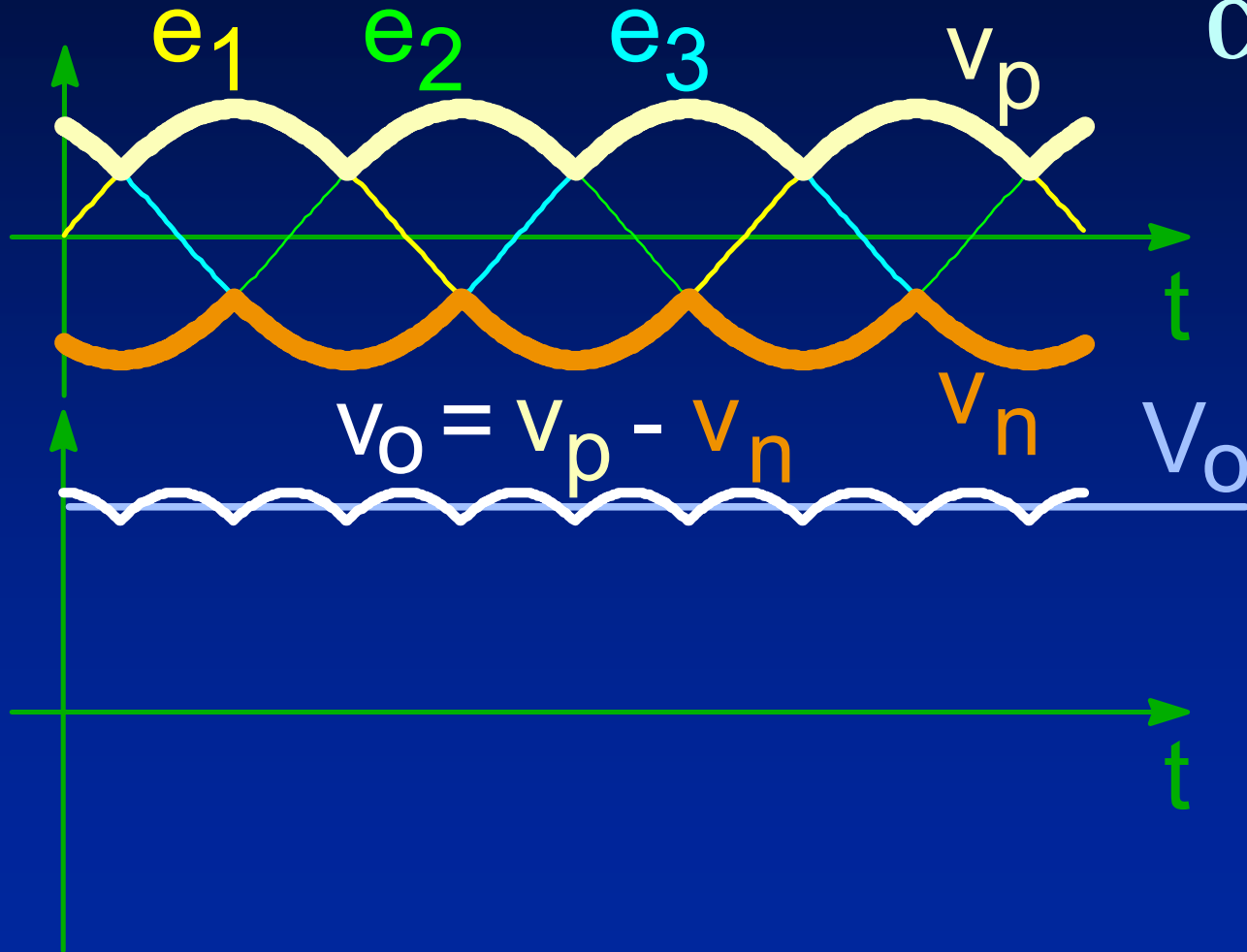


Il valore medio della tensione di uscita diminuisce all'aumentare dell'angolo α . Tale valore medio diventa negativo per valori di α maggiori di 90 gradi (funzionamento da invertitore)



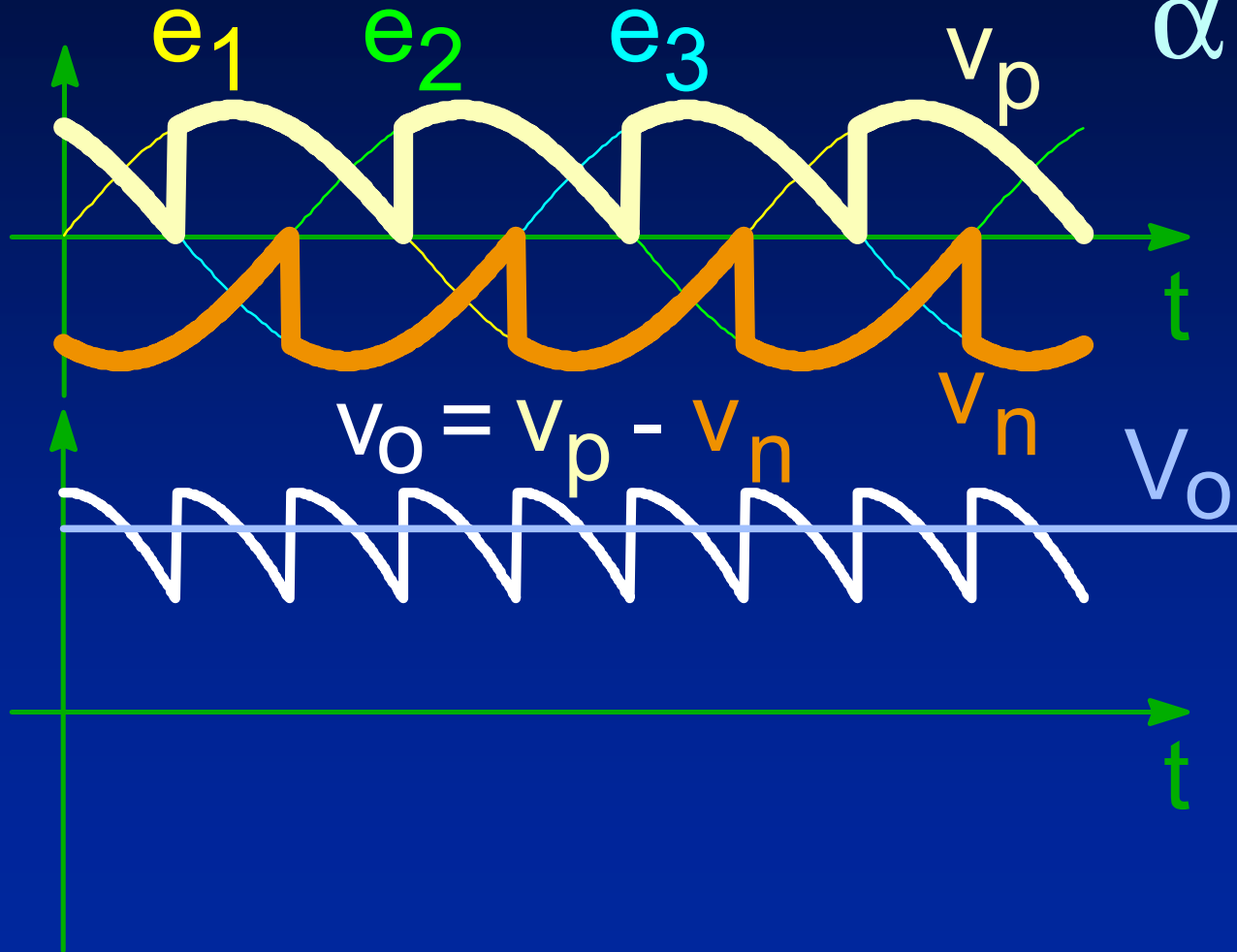
Regolazione della tensione

$\alpha = 0^\circ$



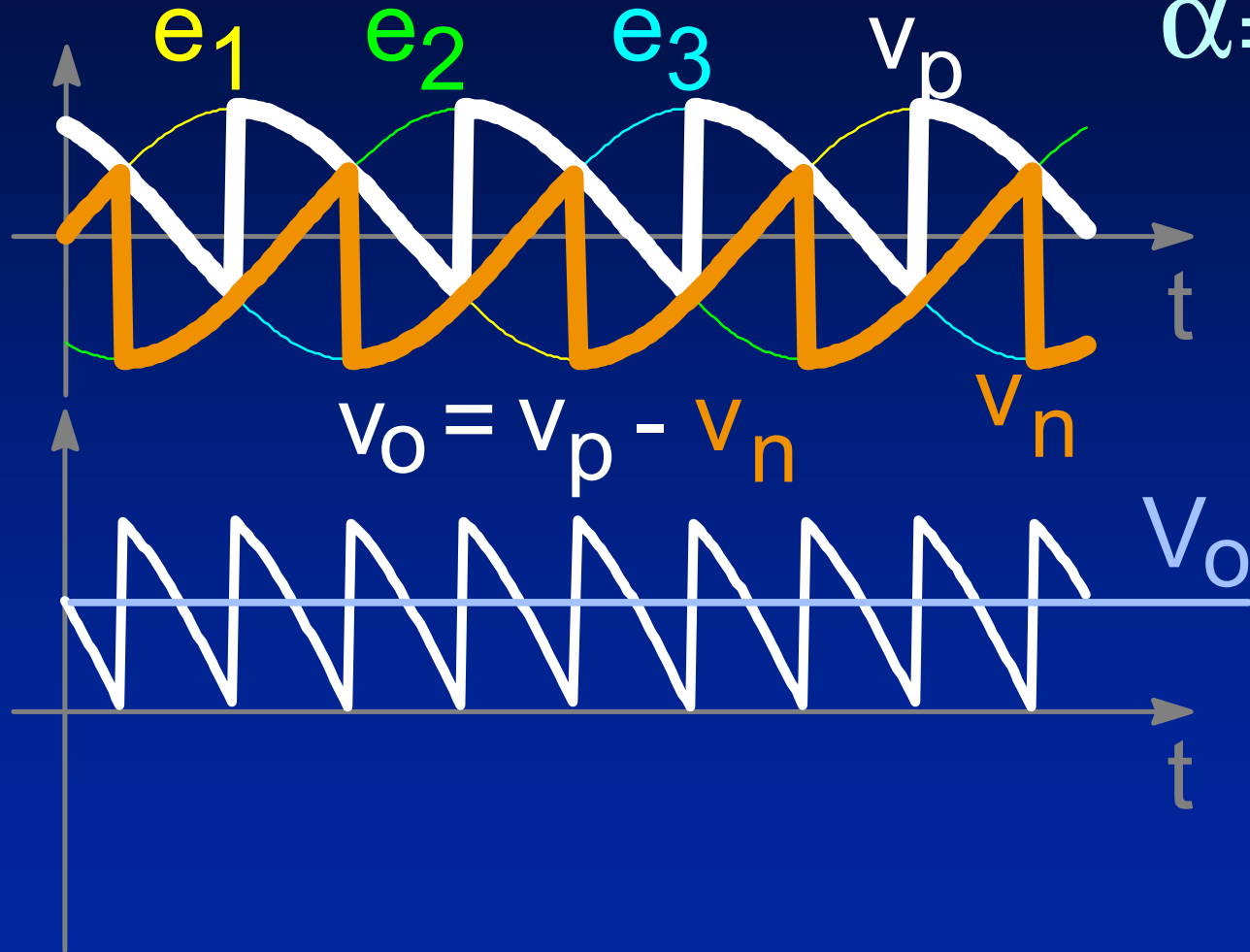
Regolazione della tensione

$\alpha = 30^\circ$



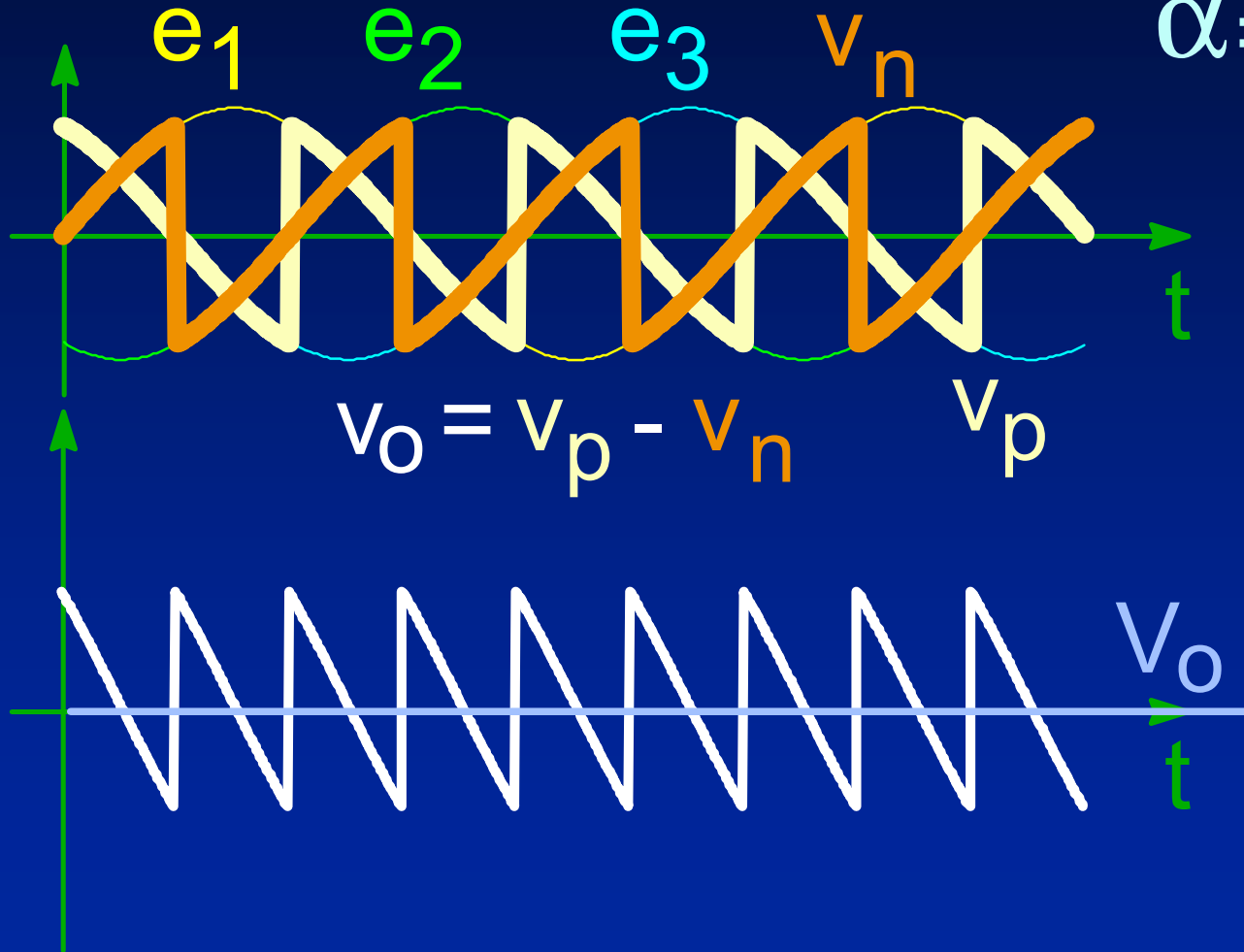
Regolazione della tensione

$\alpha = 60^\circ$



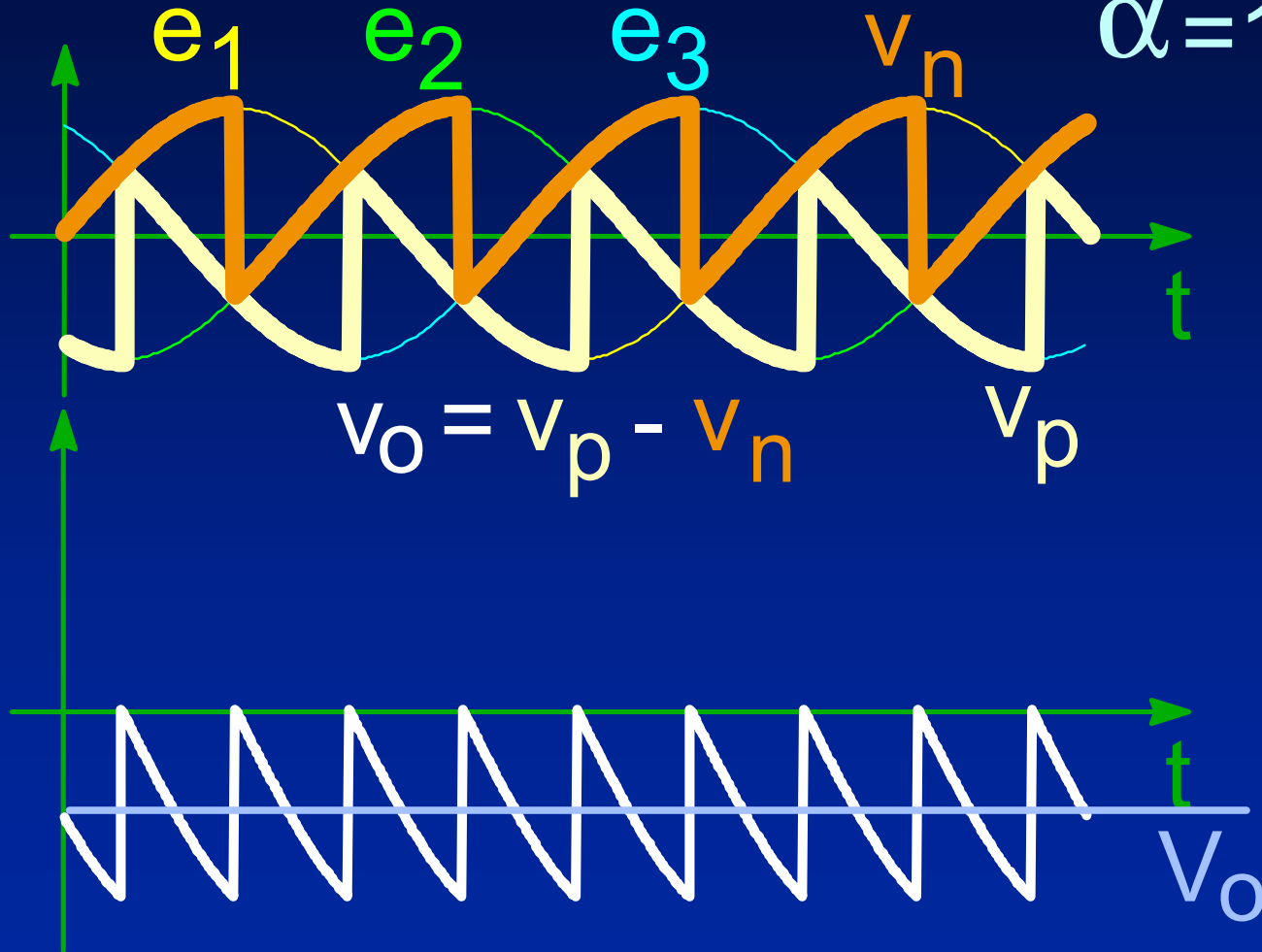
Regolazione della tensione

$\alpha = 90^\circ$



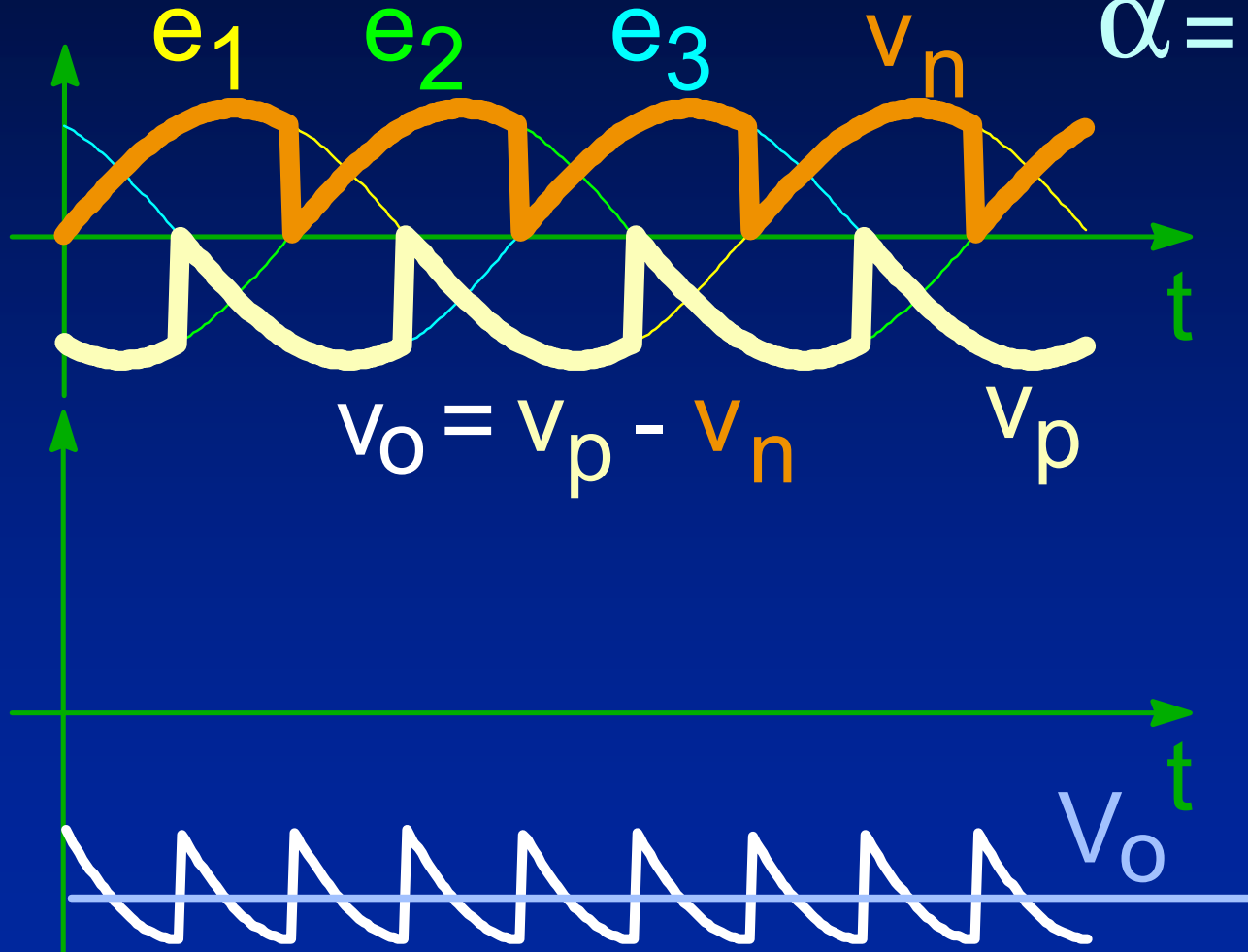
Regolazione della tensione

$$\alpha = 120^\circ$$



Regolazione della tensione

$\alpha = 150^\circ$



Tensione media di uscita

0

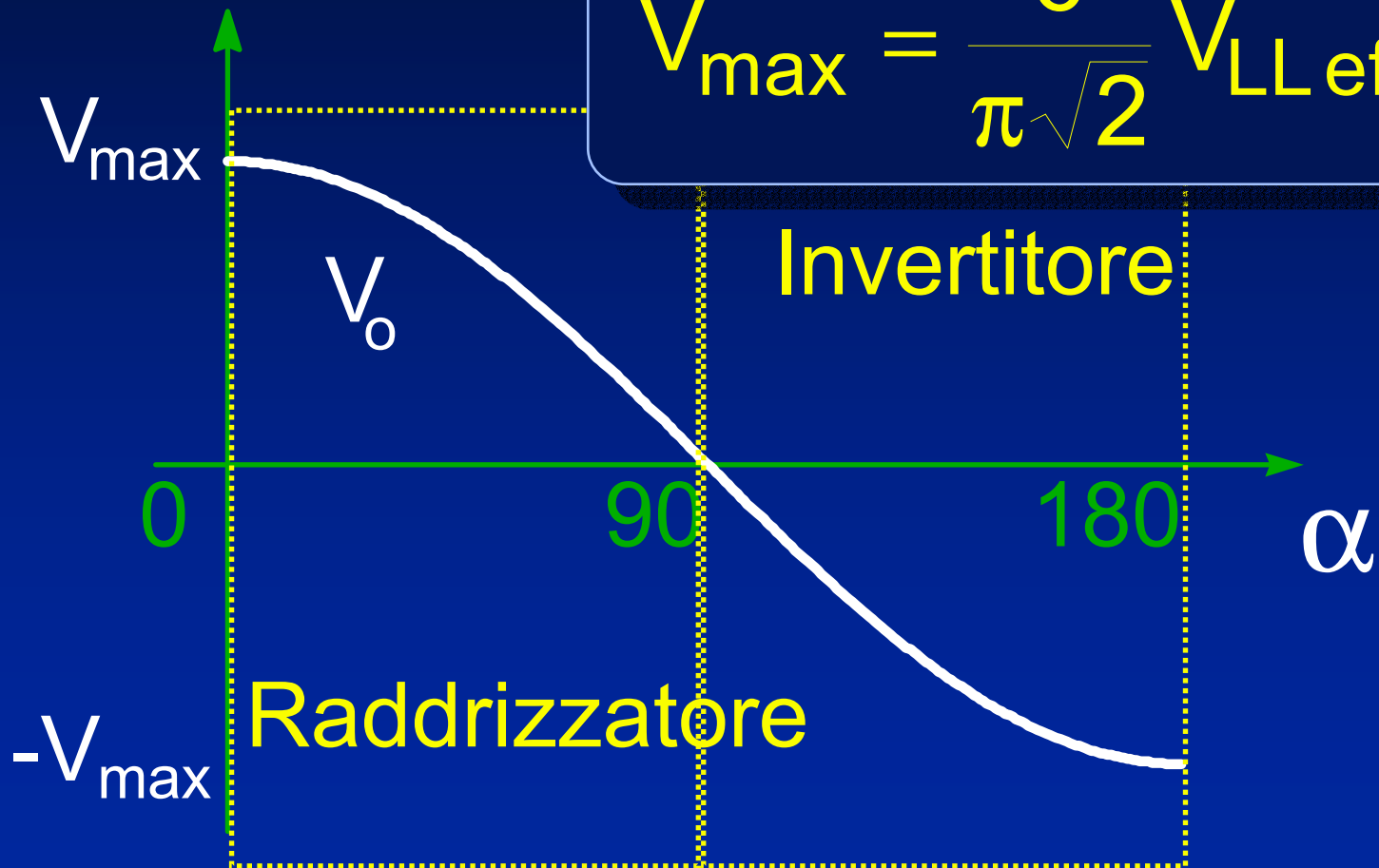
Si dimostra facilmente che la tensione media di uscita è proporzionale a $\cos(\alpha)$:

$$V_o = \frac{6}{\pi\sqrt{2}} V_{LL\text{eff}} \cos(\alpha)$$

$$V_o \cong 1.35 V_{LL\text{eff}} \cos(\alpha)$$

Tensione media di uscita

$$V_{\max} = \frac{6}{\pi\sqrt{2}} V_{LL\text{eff}}$$

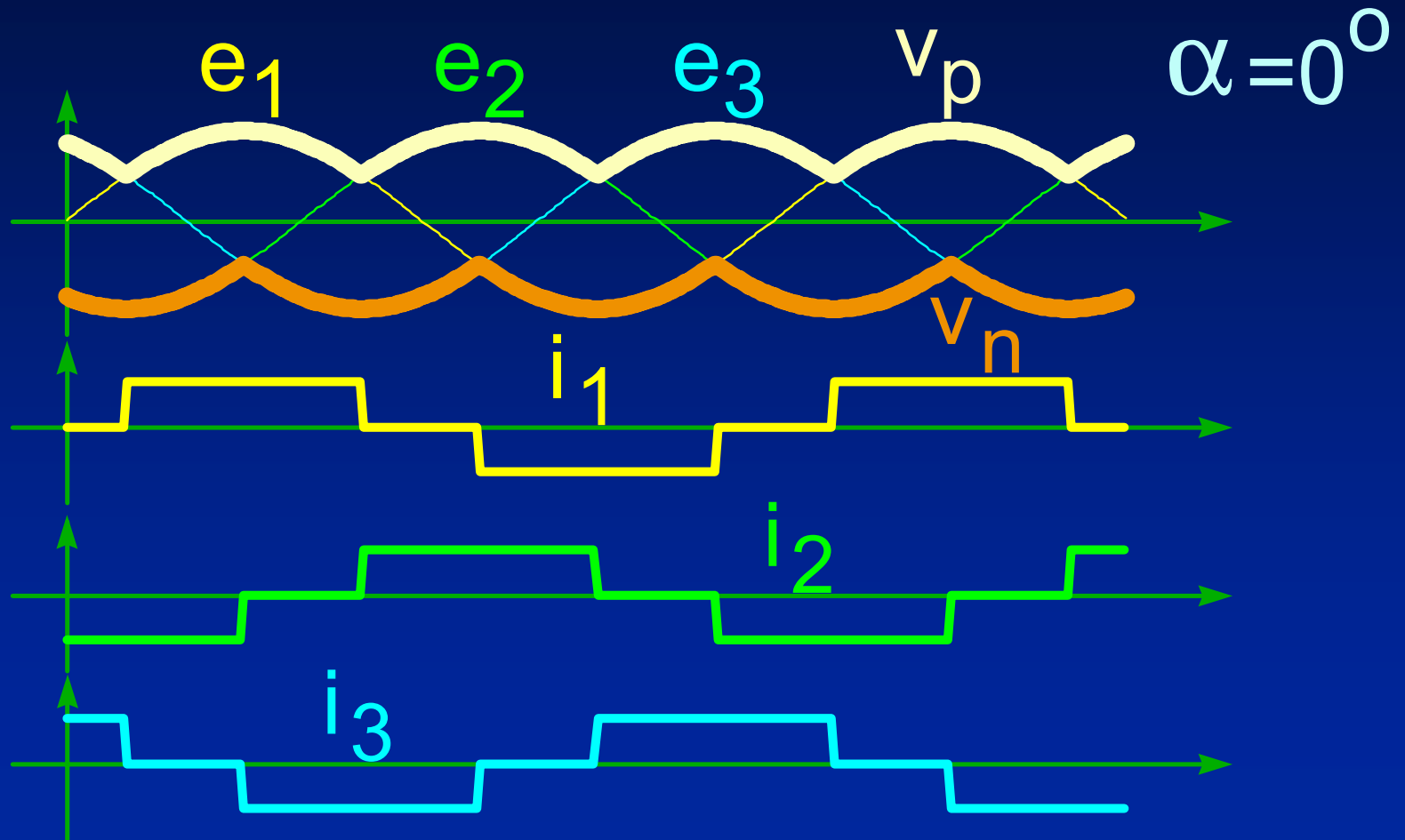


Correnti nei ponti trifase controllati

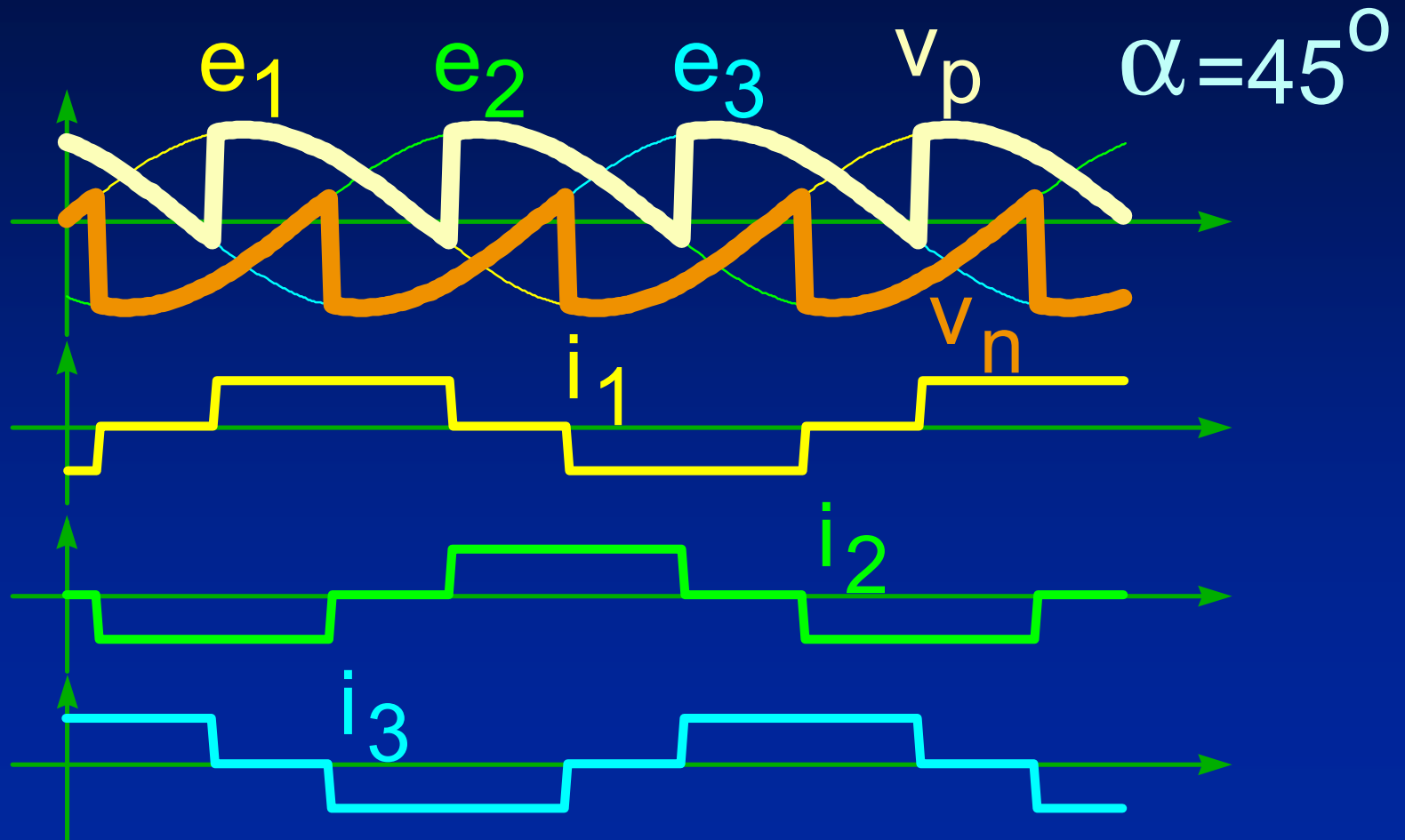
In un ponte controllato, con ritardo di accensione α la conduzione delle varie fasi dura ancora **120** gradi nei sistemi trifase, ma questa risulta **sfasata dello stesso angolo α** rispetto alla tensione di fase corrispondente

Con alti valori della componente induttiva del carico in corrente continua, nelle fasi si ha un andamento prossimo a quello rettangolare

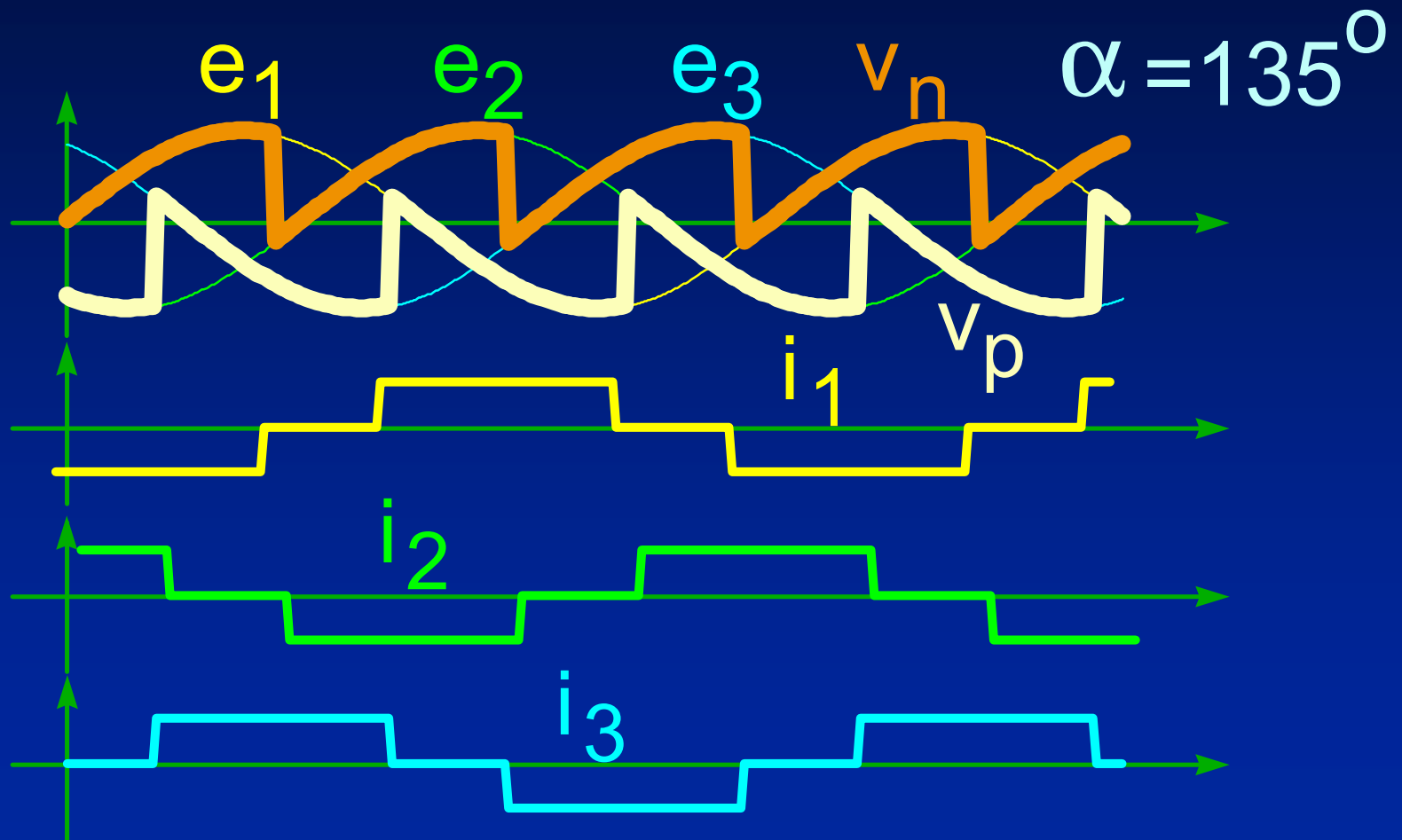
Sfasamento delle correnti



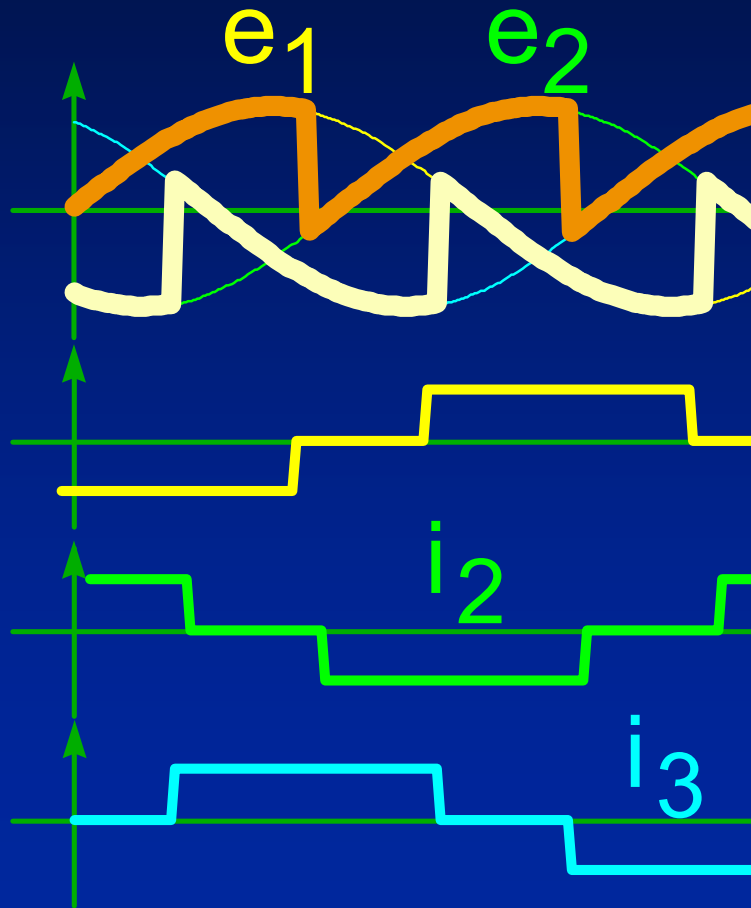
Sfasamento delle correnti



Funzionamento da invertitore

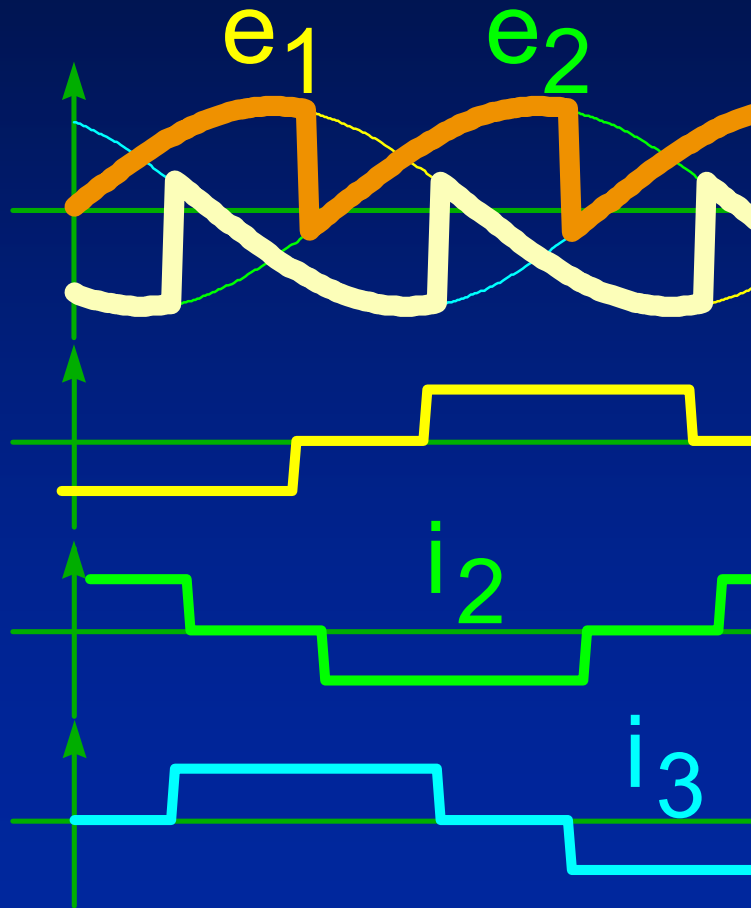


Funzionamento da invertitore



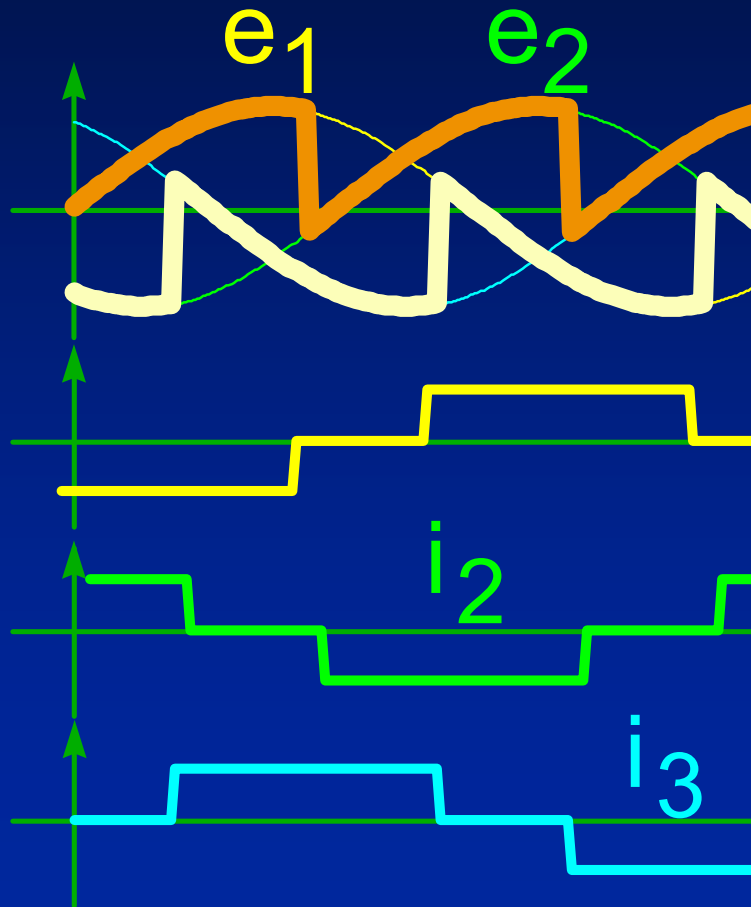
Per $\alpha > 90^\circ$ la tensione di uscita si inverte mentre la corrente rimane positiva. Si inverte così il verso della potenza in c.c. e si richiede, nel circuito in continua, la presenza di un generatore che eroghi tale potenza verso il lato c.a.

Funzionamento da invertitore



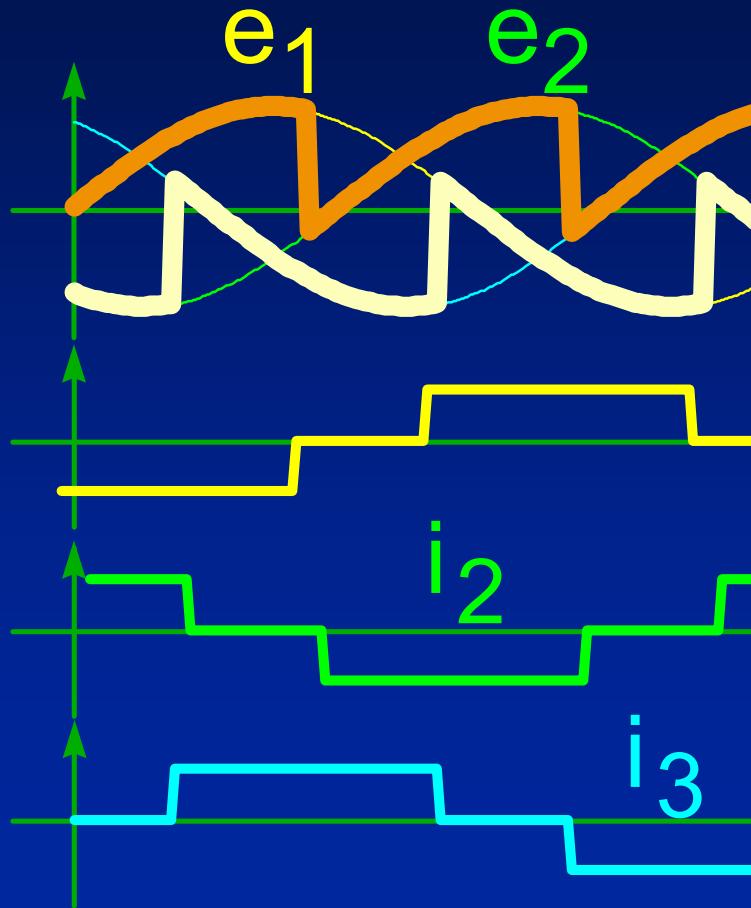
La potenza nelle fasi diventa anch'essa negativa perché la componente fondamentale della corrente di fase risulta sfasata più di 90° rispetto alla corrispondente tensione

Funzionamento da invertitore



Per assicurare l'andamento rettangolare della corrente di fase è indispensabile la presenza di una grande componente induttiva nel carico in c.c.

Funzionamento da invertitore

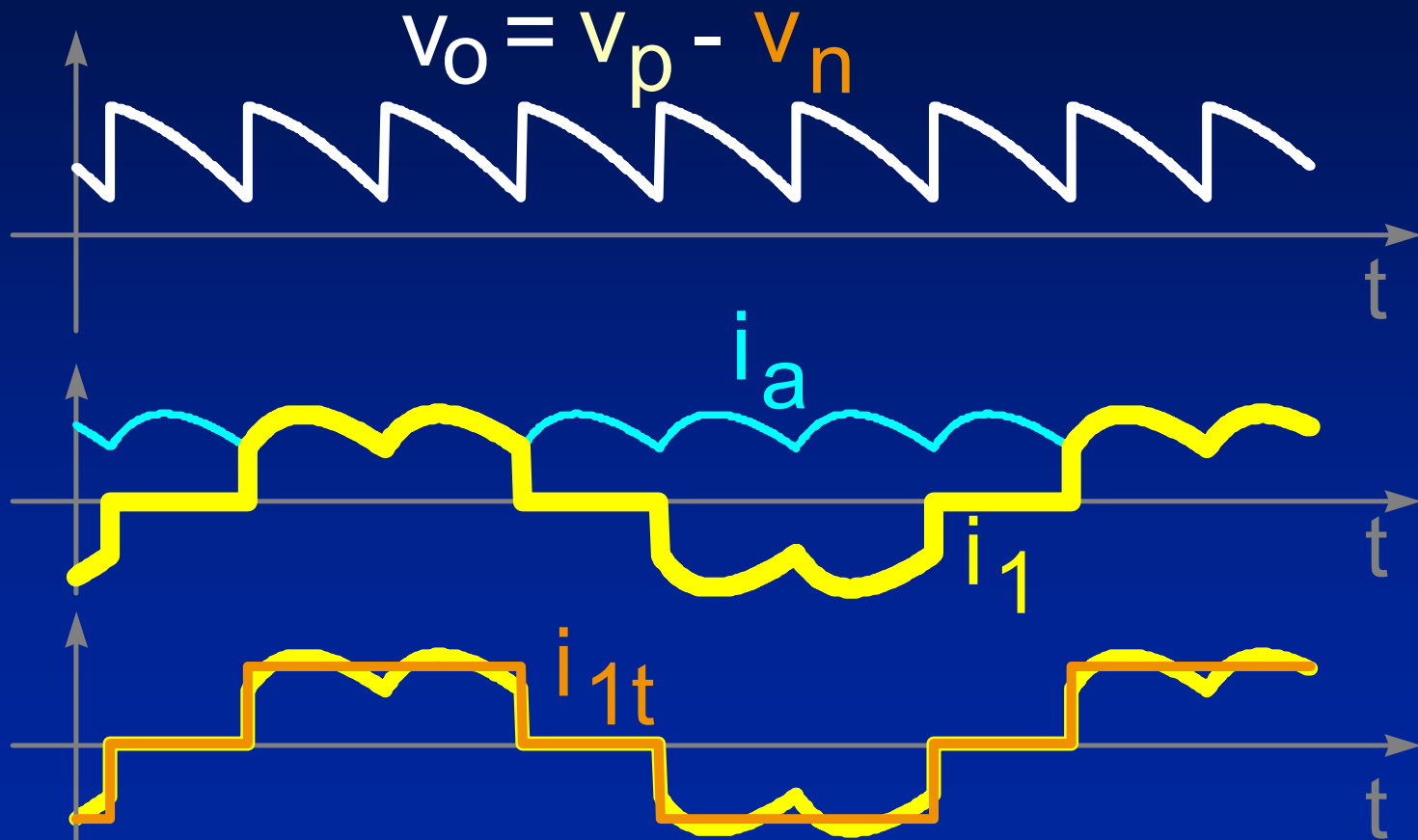


In pratica, per dare un buon margine per le commutazioni dei tiristori è necessario limitare il massimo ritardo $\alpha \leq 150^\circ$

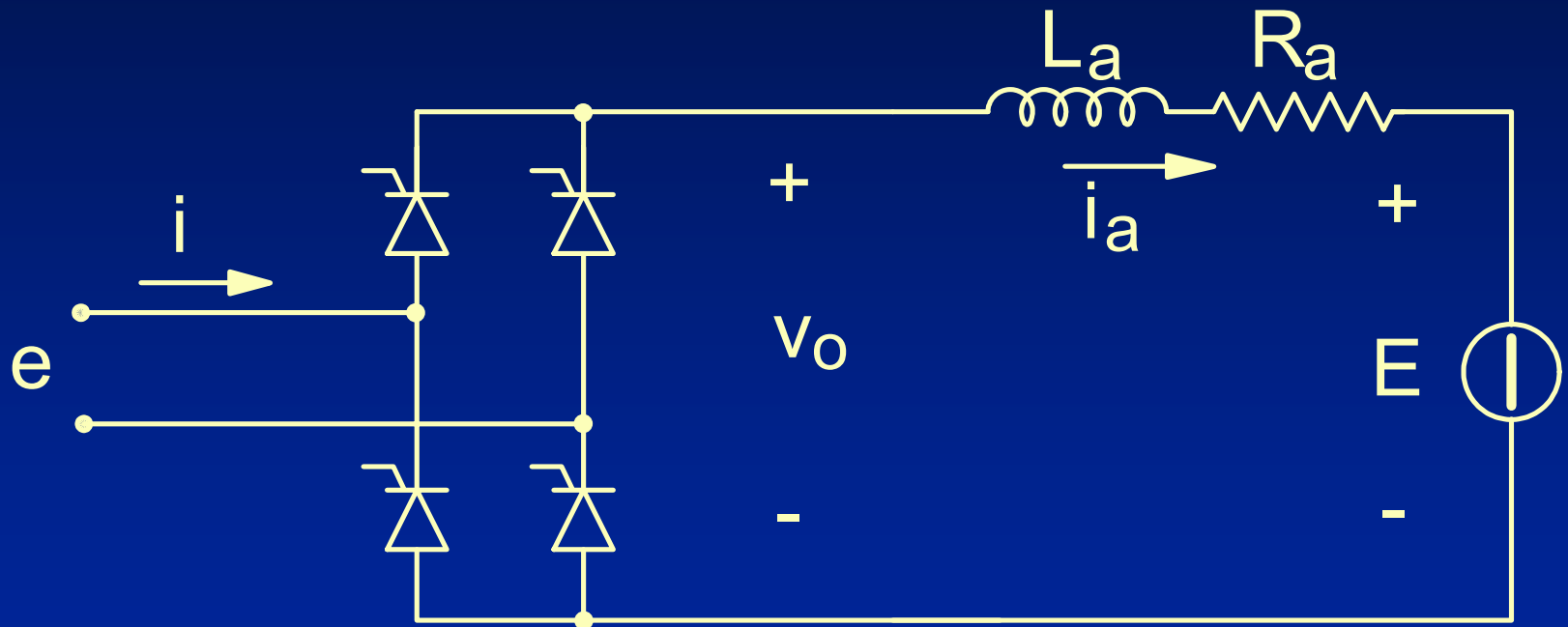
Ondulazione di corrente

Con valori limitati della componente induttiva dell'impedenza del carico in c.c. (corrente continua), la corrente nelle fasi in c.a. (corrente alternata) si allontana dall'andamento rettangolare e si ha una sensibile ondulazione nel carico in c.c.

Ondulazione di corrente

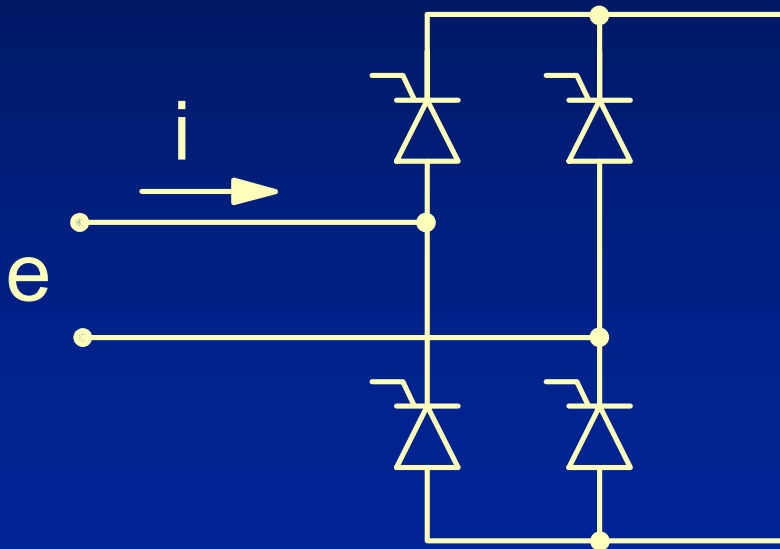


Ponte di Graetz monofase controllato

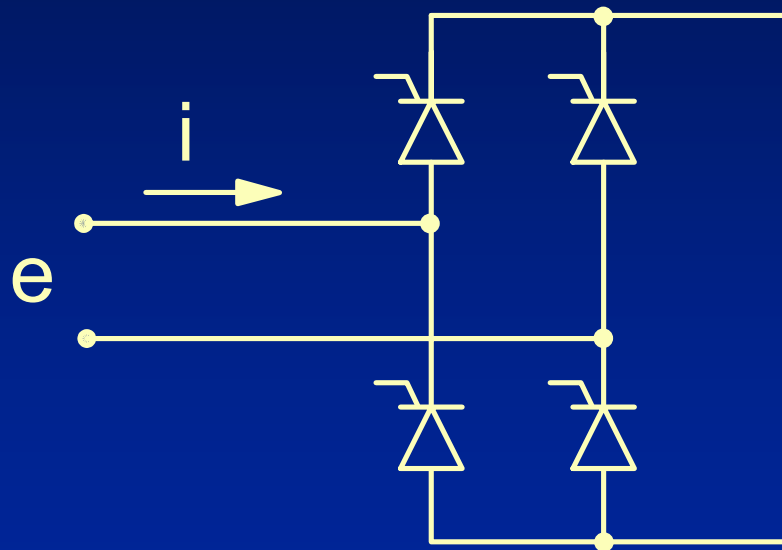


Ponte di Graetz monofase controllato

Il funzionamento del ponte monofase controllato è analogo a quello del ponte trifase. Soltanto, le commutazioni sono a 180 gradi e contemporanee nei due semiponti positivo e negativo

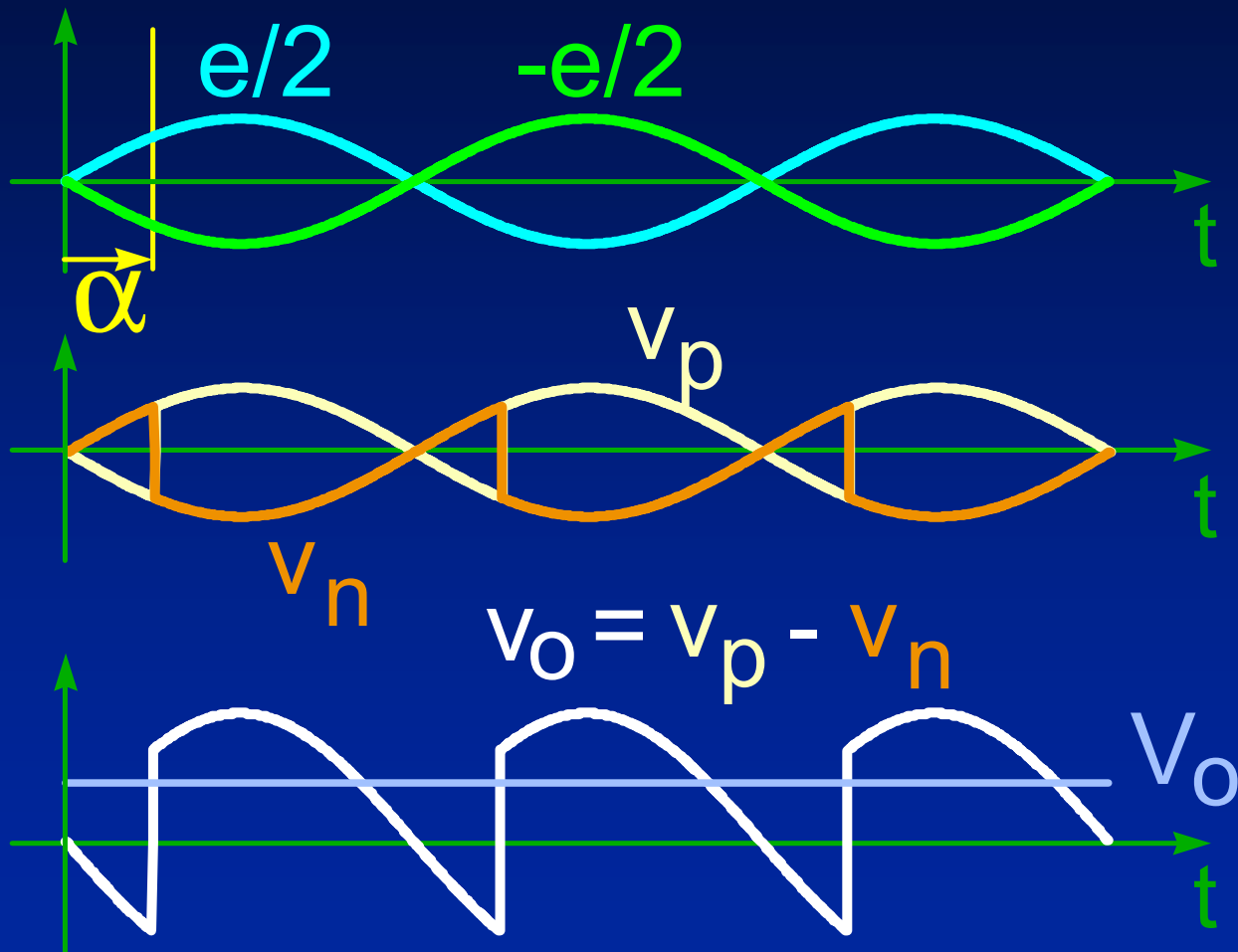


Ponte di Graetz monofase controllato



L'accensione dei tiristori comandati provoca la polarizzazione inversa e quindi lo spegnimento (naturale) degli altri due tiristori che erano in conduzione

Ponte di Graetz monofase controllato

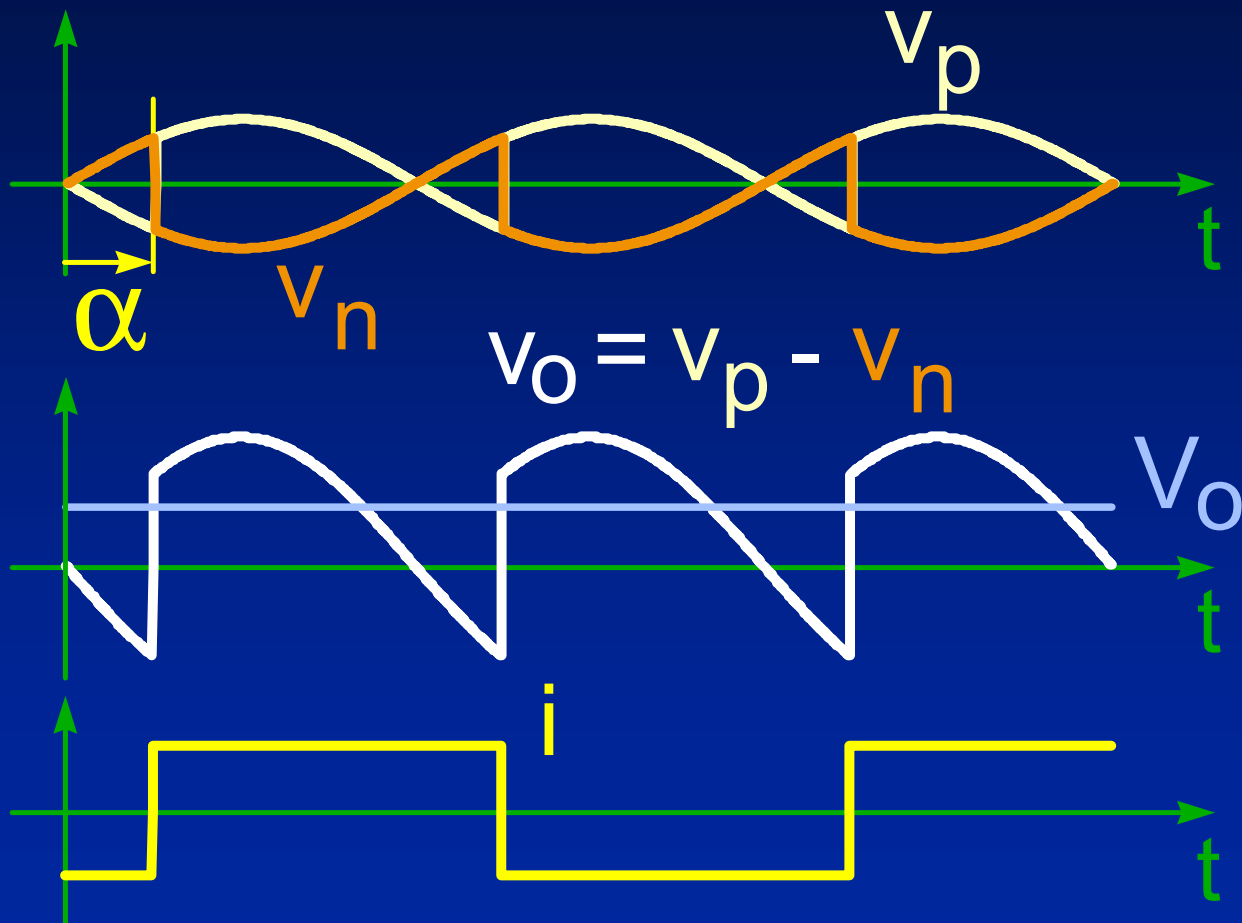


Nel ponte monofase controllato la tensione media di uscita è anch'essa proporzionale a $\cos(\alpha)$:

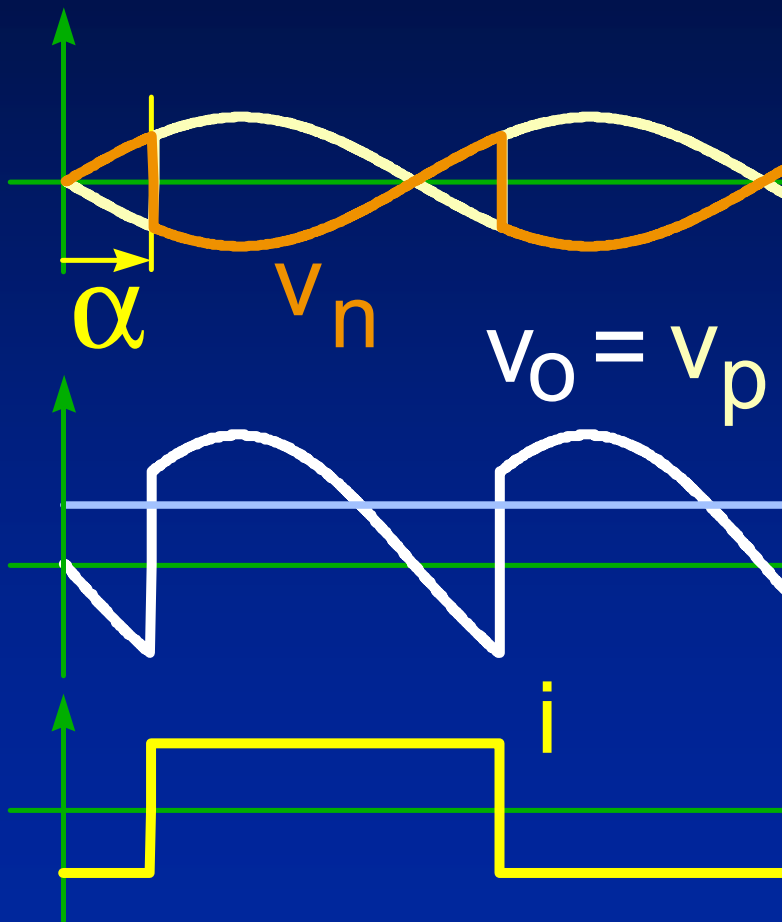
$$V_o = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{eff}} \cos(\alpha)$$

$$V_o \cong 0.9 V_{\text{eff}} \cos(\alpha)$$

Correnti nei ponti monofase controllati

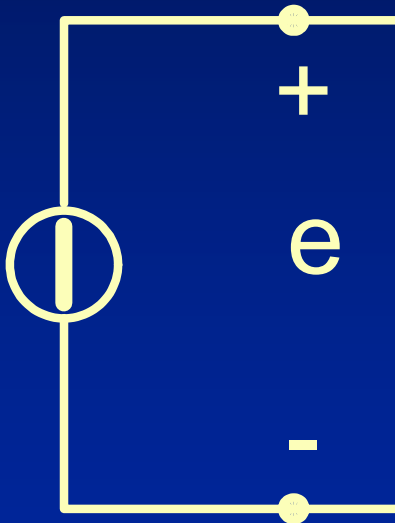


Correnti nei ponti monofase controllati



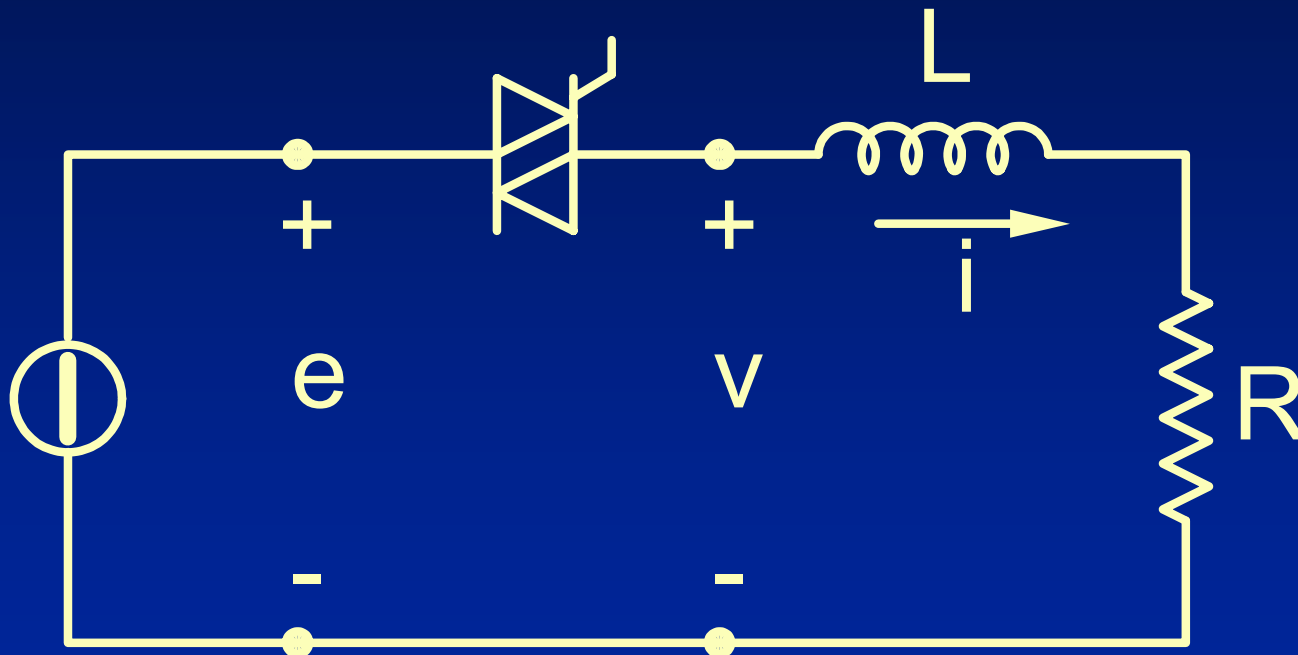
In un ponte monofase controllato, la corrente di fase è ritardata di un angolo α analogamente a quanto si verifica nei ponti trifase

Convertitori CA/CA a triac

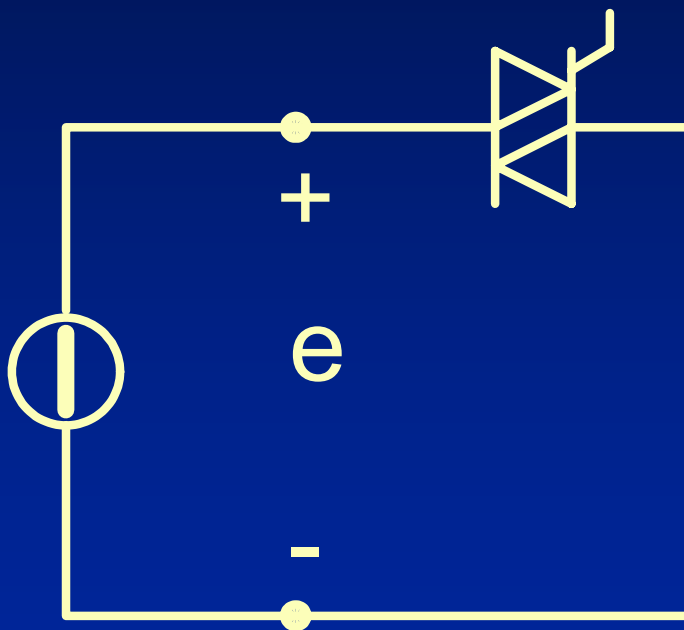


La regolazione
della tensione
alternata applicata
ad un carico si può
fare ponendo in
serie al circuito di
alimentazione un
TRIAC

Convertitori CA/CA a triac

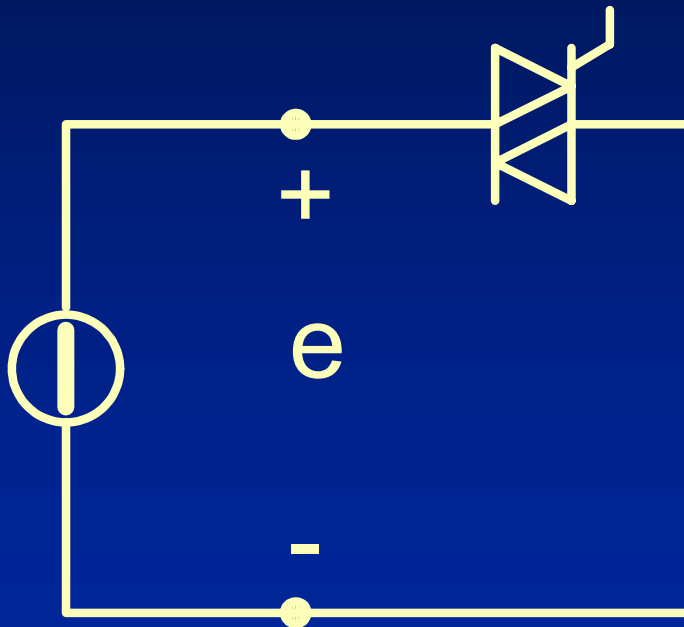


Convertitori CA/CA a triac



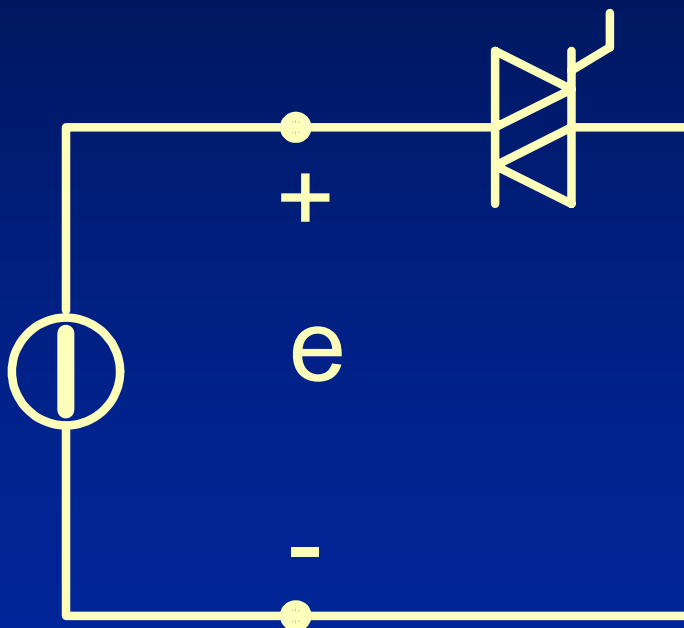
Come è noto, il triac è un componente che si comporta come una coppia di SCR connessi in parallelo in verso opposto, con un unico elettrodo di comando

Convertitori CA/CA a triac



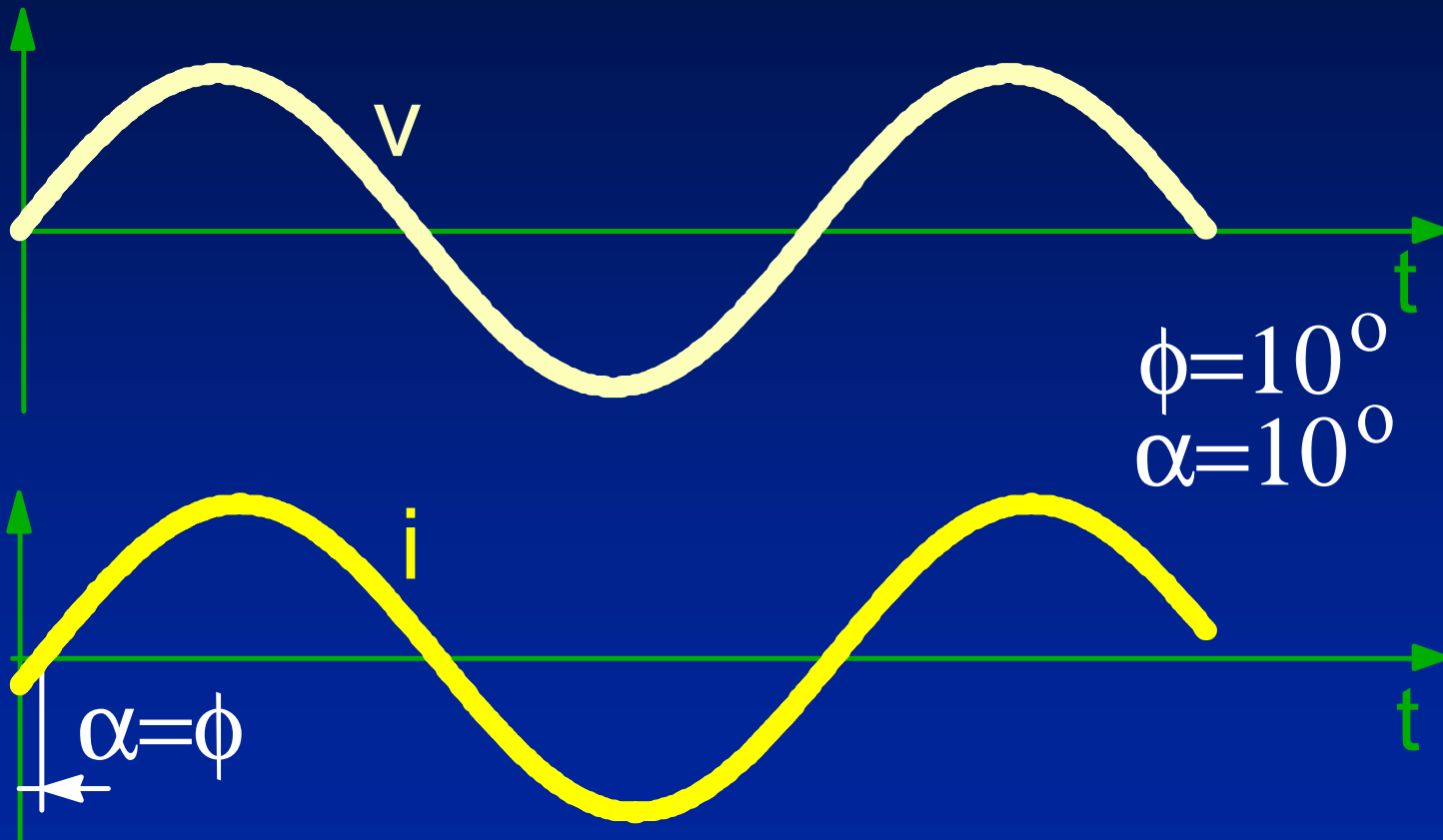
Come tutti gli **SCR**, il triac viene acceso dal comando e si spegne quando cessa la corrente che lo attraversa

Convertitori CA/CA a triac

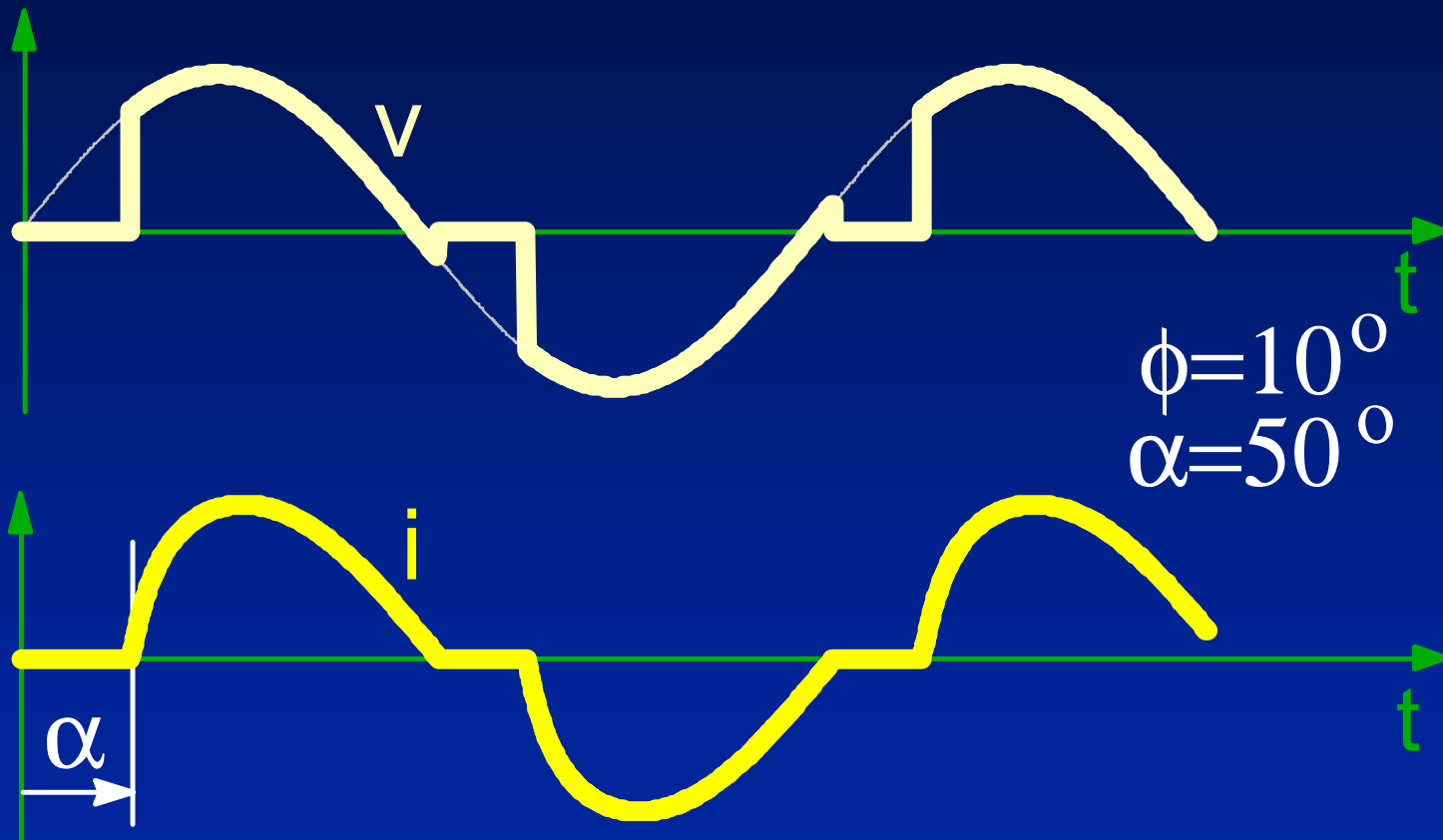


La regolazione è ottenuta ritardando l'accensione di un angolo α rispetto all'inizio del semiperiodo. Si ottiene una semionda tagliata la cui componente fondamentale è inferiore a quella dell'onda piena

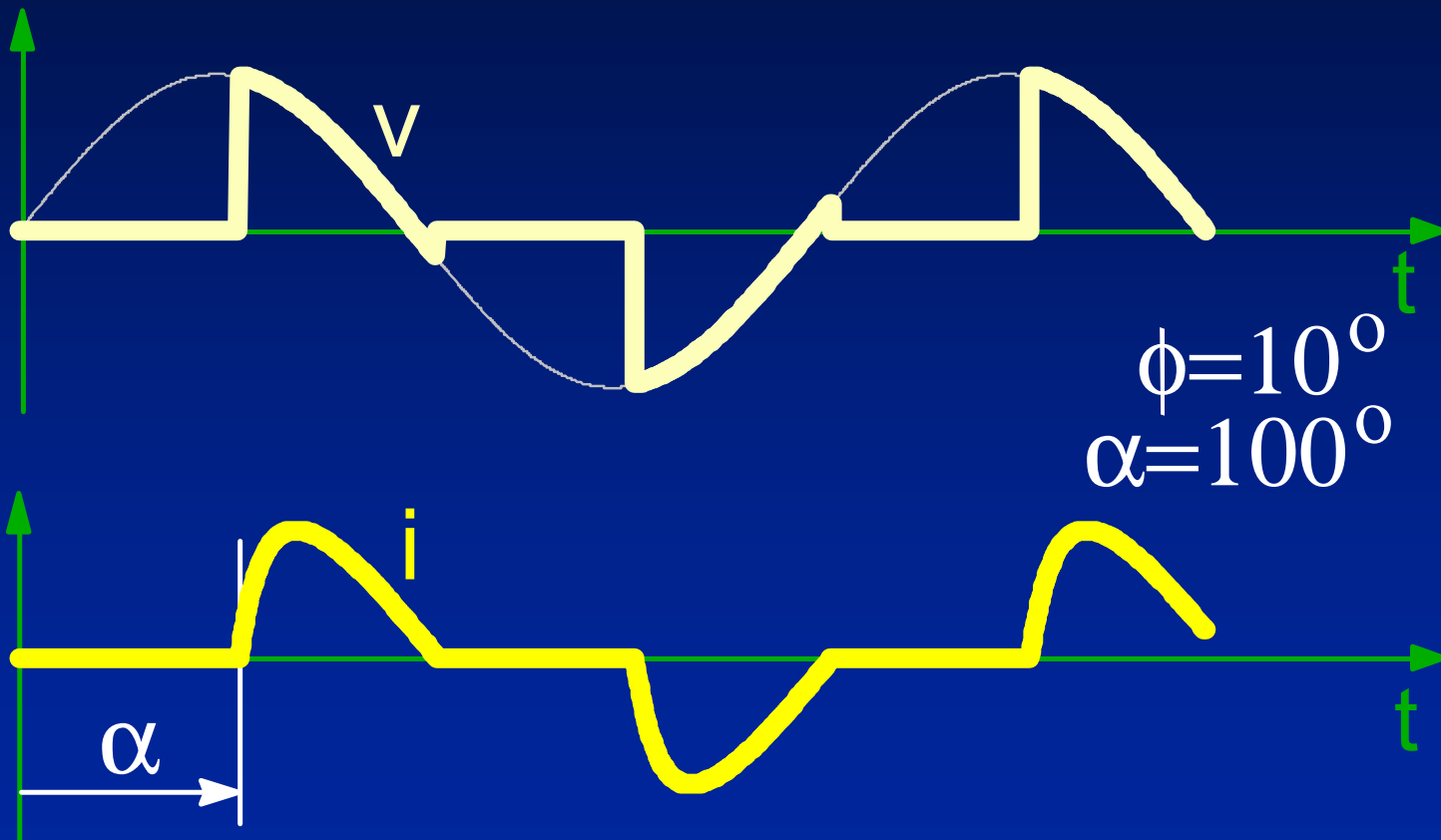
Convertitori CA/CA a triac



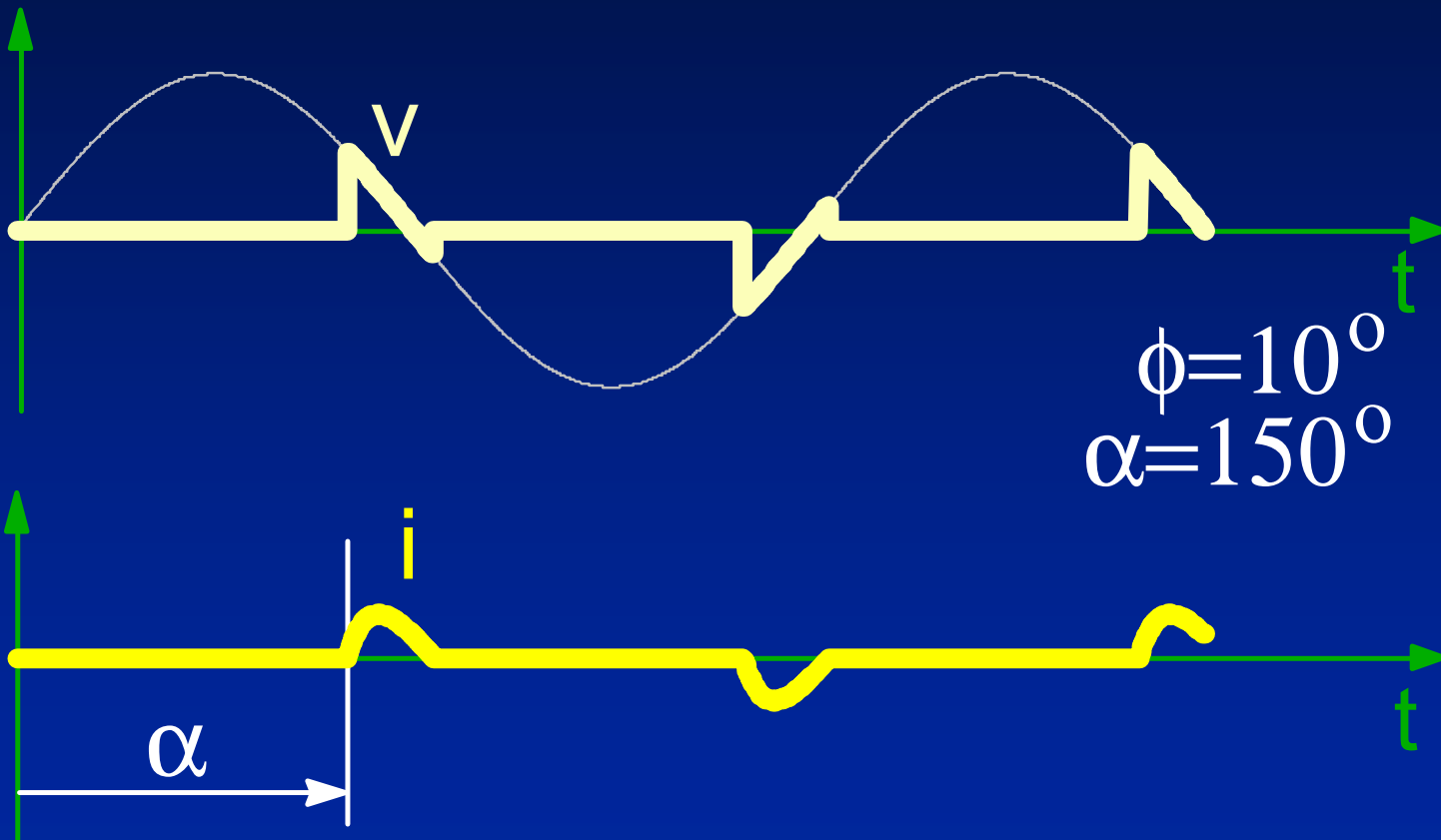
Convertitori CA/CA a triac



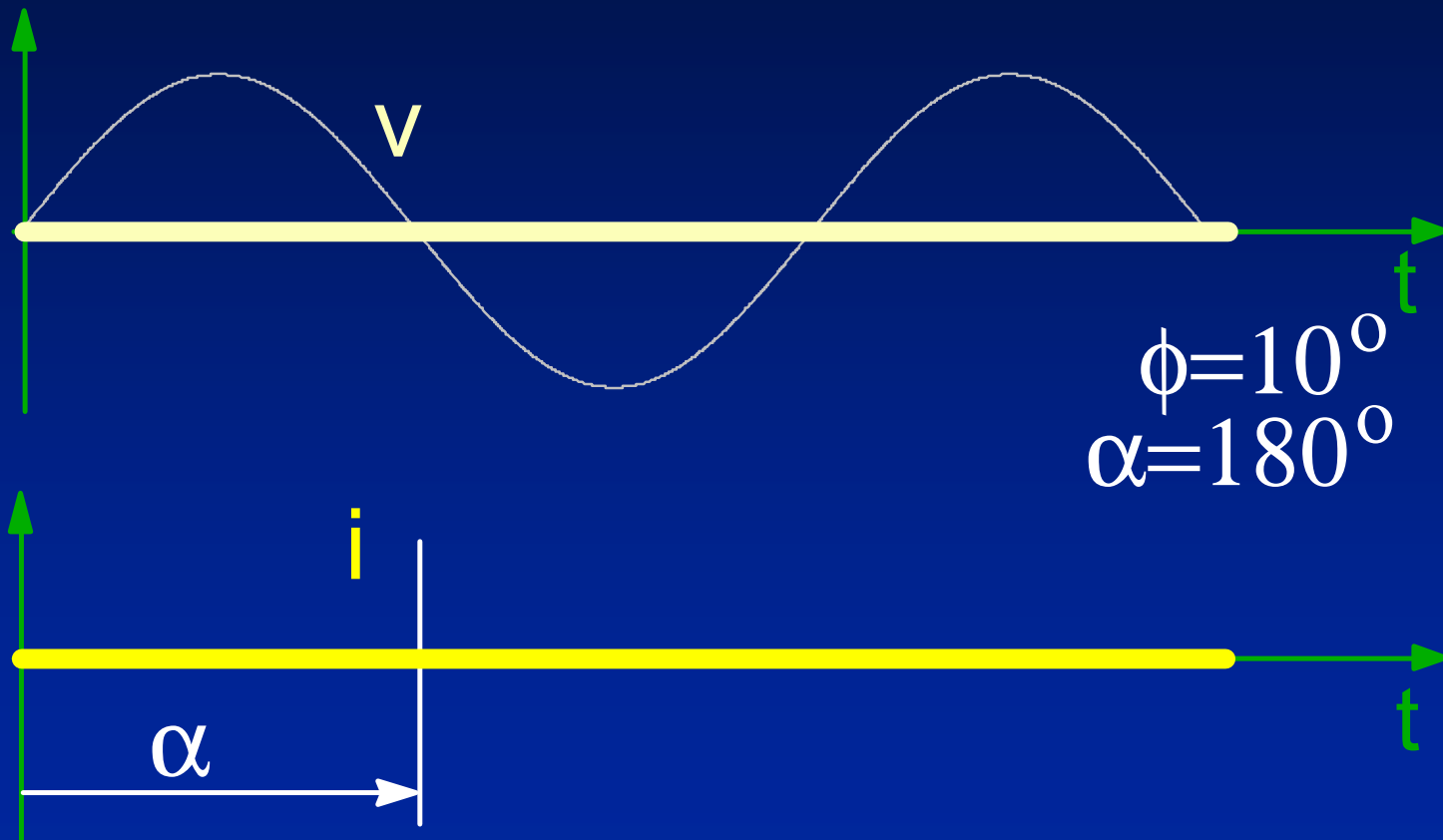
Convertitori CA/CA a triac



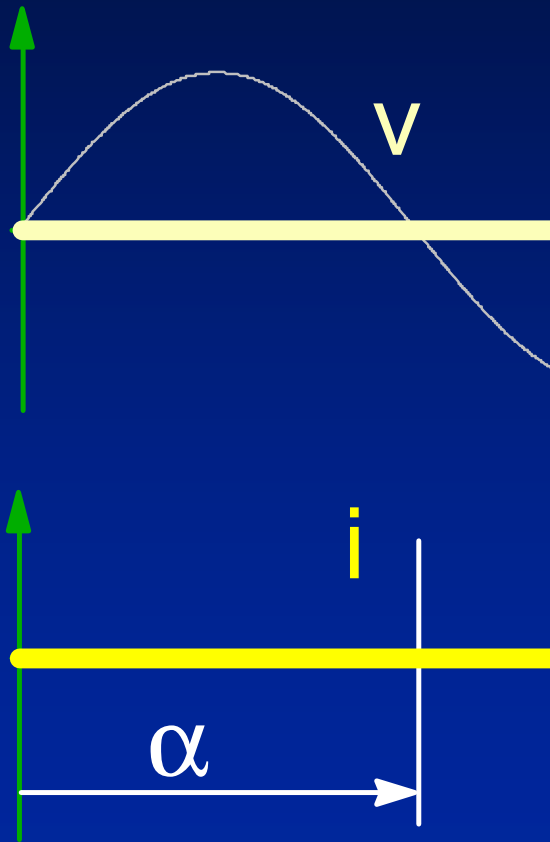
Convertitori CA/CA a triac



Convertitori CA/CA a triac



Convertitori CA/CA a triac



La regolazione deforma la tensione e la corrente sul carico introducendo uno sfasamento ed una grande quantità di armoniche. Queste ultime possono essere parzialmente filtrate dal carico se esso è induttivo

Convertitori CA/CA a triac

Componente di prima armonica I_1
di corrente su carico resistivo-
induttivo, in funzione dell'angolo α

