



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA**

**“Studio delle strategie di driving per valvola di espansione termostatica”**

**Relatore: Prof. / Dott Meneghini Matteo**

**Laureando/a: Vieceli Luca**

**ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022**

**Data di laurea 19/07/2022**

# Sommario

1.	Introduzione .....	3
1.1.	Regolazione della valvola di espansione elettronica .....	4
2.	Motore passo-passo e driver .....	5
2.1.	Tipologia costruttiva.....	6
	Magnet permanenti (PM).....	6
	Riluttanza variabile (VR).....	6
	Ibridi (HY) .....	7
2.2.	Collegamento delle fasi .....	8
	Connessione Unipolare .....	8
2.3.	Modalità di pilotaggio .....	11
	Full-step .....	11
	Half –step .....	13
	Microstepping .....	14
2.4.	Tipologia di circuito del driver .....	16
	Driver a tensione costante (L/R) .....	16
	Driver a corrente costante (Chopper driver) .....	18
3.	Verifica di compatibilità tra driver e valvola EEV .....	21
3.1.	Dettagli su driver e EEV utilizzati.....	21
3.2.	Misurazioni dei segnali di pilotaggio .....	25
4.	Conclusioni .....	32
5.	Sitografia e bibliografia .....	34

# 1. Introduzione

Il principio di funzionamento di una macchina frigorifera è semplificabile in quattro fasi fondamentali: compressione, condensazione, espansione e evaporazione.

Nella compressione il refrigerante allo stato gassoso viene compresso aumentando così la sua pressione, passa poi al condensatore dove scambiando energia con un altro fluido (aria o acqua per esempio) subisce un abbassamento di temperatura e un cambio di stato da gassoso a liquido. Successivamente il refrigerante passa per l'organo di laminazione dove viene creata una differenza di pressione abbassando la pressione del refrigerante che successivamente attraversa l'evaporatore dove assorbendo energia da un altro fluido (aria o acqua per esempio) subisce un cambio di stato in forma gassosa e si dirige nuovamente verso il compressore.

L'organo di laminazione crea una differenza di pressione mediante una restrizione attraverso la quale il liquido refrigerante evapora parzialmente abbassando la propria pressione.

La restrizione può essere operata da un capillare, che ha una dimensione fissa, oppure da una valvola azionata meccanicamente tramite un elemento sensibile al calore, tuttavia al giorno d'oggi la soluzione più frequentemente adottata nel mondo dell'HVAC è quella di una valvola di espansione elettronica dove la valvola viene attuata elettricamente tramite un motore.

Questa soluzione viene maggiormente impiegata perché l'attuazione della valvola in modo elettronico permette una regolazione del surriscaldamento molto più precisa e soprattutto un'adattabilità alle variazioni delle condizioni di lavoro maggiore.

Il tipo più comune di valvola di espansione elettronica è quella che utilizza un motore passo-passo e un attuatore lineare che muove l'organo che opera la restrizione, per esempio uno spillo che si muove su un'apertura o un elemento che scorre su un'apertura, anche se esistono soluzioni che fanno uso di servomotori.

## 1.1.Regolazione della valvola di espansione elettronica

Il movimento della valvola di espansione regola l'afflusso di refrigerante nell'evaporatore e deve essere tale da essere sufficiente per fornire l'energia necessaria al fluido di scambio e non essere eccessiva in modo tale che tutto il refrigerante venga evaporato e non ne rimanga in fase liquida (condizione dannosa per il compressore). Lo scopo della regolazione della valvola è quindi mantenere un determinato surriscaldamento nello scambiatore, ovvero mantenere il refrigerante ad una determinata temperatura al di sopra della temperatura di saturazione del gas.

La regolazione della valvola è solitamente effettuata da un sistema di controllo che si occupa di acquisire mediante dei trasduttori le pressioni e temperature necessarie al calcolo del surriscaldamento che viene confrontato con un valore di riferimento. Un PID si occupa di determinare la percentuale di apertura della valvola in funzione dell'errore tra surriscaldamento calcolato e desiderato. Spesso in associazione alla regolazione per inseguire un determinato surriscaldamento il sistema di controllo applica delle funzioni avanzate che correggono la regolazione in condizioni di funzionamento dell'unità particolarmente critiche, per esempio durante la partenza del circuito frigo o in condizioni di pressioni elevate.

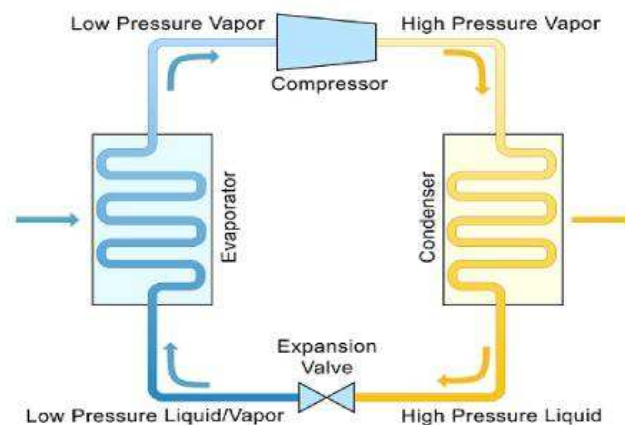


FIGURA 1.1.1 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL CIRCUITO FRIGO, IN BASSO LA VALVOLA DI ESPANSIONE  
([HTTPS://WWW.SUPERRADIATORCOILS.COM/BLOG/4-MAIN-REFRIGERATION-CYCLE-COMPONENTS](https://www.superradiatorcoils.com/blog/4-main-refrigeration-cycle-components))

## 2. Motore passo-passo e driver

Il motore passo-passo o stepper motor è un motore elettrico a corrente continua brushless la cui caratteristica principale è di convertire degli impulsi elettrici in rotazioni discrete del suo asse. Il modo in cui questi impulsi sono inviati al motore determina il senso di rotazione del motore e la velocità, il numero di impulsi inviati determina la posizione angolare dell'asse di rotazione. Con un'opportuna gestione degli impulsi inviati al motore dunque è possibile ottenere un movimento preciso, ed è per questo che il principale campo di applicazione dei motori passo-passo è quella di ottenere un modo semplice ed efficace di ottenere dei movimenti di diversa ampiezza e direzione, sia in senso rotativo che lineare, mediante degli attuatori che convertono la rotazione in movimento lineare.

I principali vantaggi dell'utilizzo di un motore passo-passo rispetto ad altre soluzioni, per esempio un servomotore, sono: la possibilità di utilizzare un sistema di controllo open loop, ovvero non è necessario ottenere un feedback sul posizionamento del motore per ottenere un posizionamento preciso in quanto la posizione finale è direttamente proporzionale al numero di impulsi e l'errore sul posizionamento non è cumulativo, e la capacità di mantenere la posizione in condizioni stazionarie anche sotto carico quando alimentato (holding torque). Anche a motore non alimentato è in grado di mantenere la posizione di fronte ad una coppia applicata all'asse di rotazione, anche se in misura inferiore a quella a motore alimentato (detent torque). Inoltre è una soluzione a basso costo e affidabile non avendo altri componenti oltre al motore e il motore stesso non è soggetto ad usura se non relativa alle componenti meccaniche per la rotazione (ad esempio cuscinetti) e possiede una buona coppia alle basse velocità di rotazione.

I principali svantaggi di questa soluzione sono la scarsa efficienza, in quanto assorbono corrente a prescindere dal carico (ad esempio la corrente necessaria per mantenere l'holding torque o quella necessaria a vincere la detent torque all'inizio della rotazione), al crescere della velocità di rotazione la coppia generata decresce rapidamente (anche in funzione della tipologia costruttiva e driver), non rendendolo adatto ad applicazioni ad alte velocità di rotazione e la bassa accuratezza, dovuta al fatto che la risoluzione minima del movimento del motore è data dal numero di passi che può compiere in una rotazione. Inoltre utilizzando un sistema di controllo open loop non è possibile accorgersi di una perdita di passi, ovvero una mancata rotazione del motore in corrispondenza di un impulso, dovuto a una coppia non sufficiente in funzione del carico o a movimenti troppo veloci, portando ad un movimento non preciso.

## **2.1. Tipologia costruttiva**

In funzione della tipologia costruttiva del motore si possono distinguere tre categorie:

### Magneti permanenti (PM)

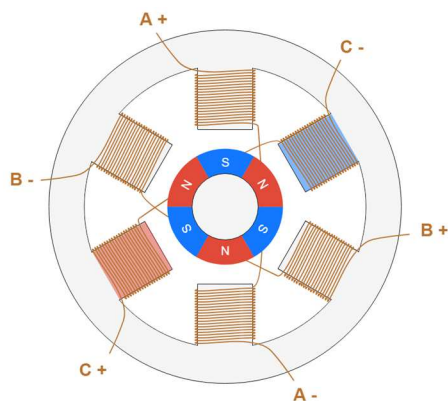
Il rotore è costituito da magneti permanenti che generano un campo magnetico perpendicolare all'asse di rotazione. Lo statore è costituito da un gruppo di bobine allineate in modo che una volta alimentate generino un campo magnetico perpendicolare all'asse di rotazione. Il numero di gruppi di bobine definisce il numero di fasi del motore (due o più). Quando viene applicato un impulso alla fase i poli opposti dello statore e rotore tendono ad allinearsi, generando una forza che ruota l'asse del motore. Alimentando in successione le fasi il campo magnetico generato ruota causando la rotazione sincrona dell'asse. Il numero di passi in una rotazione completa è in funzione del numero di fasi e di poli. Solitamente il numero di fasi è due, per ottenere un maggior numero di passi si aumenta il numero di poli, che vengono disposti alternando le polarità.

### Riluttanza variabile (VR)

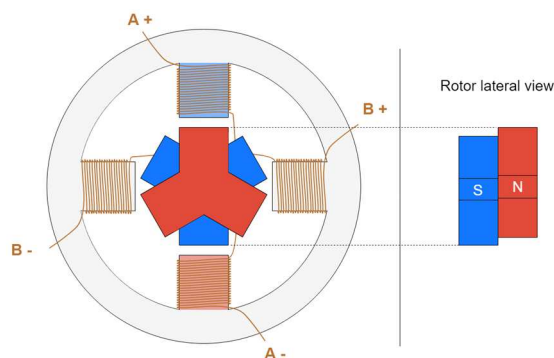
Il rotore è composto da materiale ferromagnetico con una dentatura sulla circonferenza. Lo statore è composto da degli avvolgimenti anche qui organizzati in gruppi in modo che una volta alimentati generino un campo magnetico perpendicolare all'asse. Anche in questo caso il numero di fasi è definito dal numero di gruppi di avvolgimenti (solitamente più di due). Ogni avvolgimento presenta una dentatura che si affaccia verso il rotore, disposte in modo che quando la dentatura del rotore è allineata con quella dell'avvolgimento sia disallineata con il successivo avvolgimento. Quando uno degli avvolgimenti viene eccitato da un impulso esso genera un campo magnetico perpendicolare all'asse di rotazione, lo statore tende a posizionarsi in modo che il circuito magnetico abbia la minore riluttanza, ovvero quando la dentatura dello statore è allineata con quella del rotore. Alimentando in sequenza le bobine si ottiene una rotazione del campo magnetico con un conseguente allineamento della dentatura che corrisponde ad una rotazione dell'asse. Il numero di passi è definito in funzione del numero di fasi (tipicamente tre o più) e dal numero di poli che in questo caso è dato dal numero di denti presenti sul rotore.

## Ibridi (HY)

In questa soluzione si sfrutta l'unione dei due precedenti principi, dove il rotore è costituito da un magnete permanente (una sezione del cilindro è il polo nord mentre una è il polo sud) con una dentatura disallineata tra polo nord e polo sud. Lo statore è composto da avvolgimenti organizzati in modo da generare un campo magnetico perpendicolare all'asse, anche questi forniti di una dentatura. Il numero di gruppi di bobine determina il numero di fasi (tipicamente due). Quando viene applicato un impulso alla fase il campo magnetico generato attrae i poli opposti imponendo una forza sull'asse che ruota. I denti sullo statore sono disposti in modo che il polo dello statore crei attrazione verso il polo del rotore opposto e repulsione verso il polo del rotore dello stesso tipo in modo da creare un equilibrio e disassati rispetto al polo successivo, in modo che alternando le sequenze di impulsi ai poli si genera una rotazione dell'asse.



**FIGURA 2.2.1 STEPPER MOTOR A MAGNETI PERMANENTI**  
([WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES](http://WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES))



**FIGURA 2.1.2 STEPPER MOTOR IBRIDO**  
([WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES](http://WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES))

## 2.2. Collegamento delle fasi

Dal punto di vista delle connessioni verso il driver i motori passo-passo si presentano in diverse configurazioni a seconda del numero di fili. Prendendo come esempio un motore passo-passo a due fasi, nella Figura 2.2.1 vengono riassunte le diverse configurazioni possibili.

Nel primo esempio si ha un motore a 4 fili, connessi ai capi degli avvolgimenti di ogni fase.

Nel secondo esempio si ha un motore a 5 fili, dove oltre alle connessioni ai capi degli avvolgimenti è presente una connessione al centro dell'avvolgimento delle fasi che vengono connesse internamente (quinto filo). In questo modo la fase viene divisa in due avvolgimenti.

Nel terzo esempio si ha un motore a 6 fili, simile alla precedente ma in questo caso la connessione centrale delle due fasi non è collegata internamente ma ha un filo dedicato per ogni fase

Nel quarto esempio si ha un motore a 8 fili, sempre con connessione centrale ma in questo caso divisa tra i due avvolgimenti della fase con un filo dedicato. I due avvolgimenti della fase quindi sono separati e i 4 fili di una fase sono collegati ai capi dei due avvolgimenti.

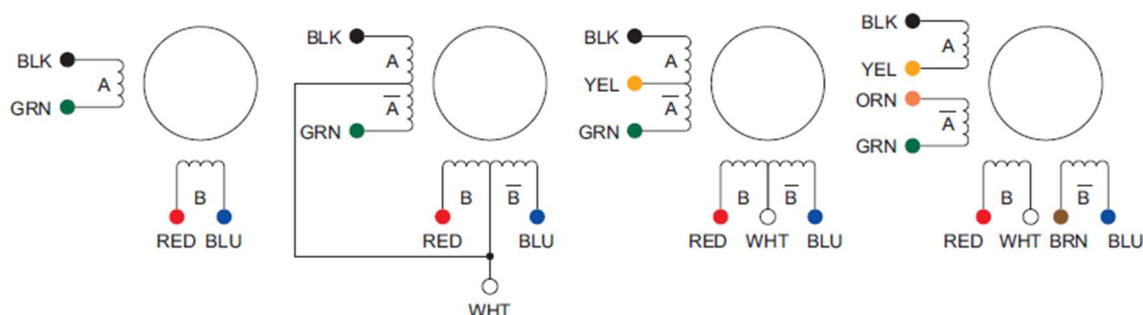


FIGURA 2.2.1 NUMERO DI FILI IN UN MOTORE PASSO-PASSO A DUE FASI  
([BLOG.ORIENTALMOTOR.COM/WIRING-BASICS-UNIPOLAR-VS-BIPOLAR](http://BLOG.ORIENTALMOTOR.COM/WIRING-BASICS-UNIPOLAR-VS-BIPOLAR))

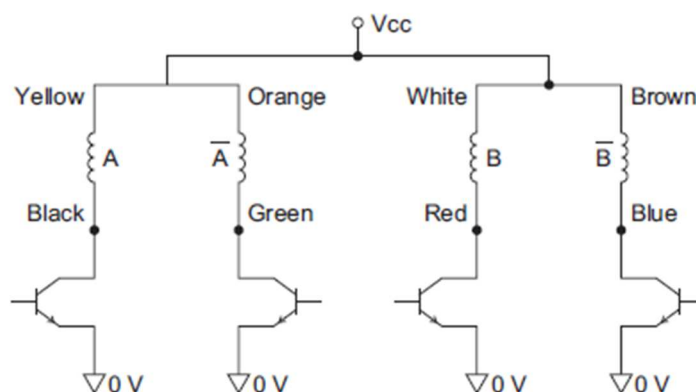
Il modo in cui avviene il collegamento tra i fili del motore e il driver può essere di tipo unipolare o bipolare.

### Connessione Unipolare

Al driver sono connessi i fili ai capi dell'avvolgimento delle fasi e la connessione centrale, che viene utilizzata come comune. Il driver è costituito da una serie di transistor utilizzati come interruttori, due per fase. Quando

Il principale vantaggio di questa soluzione è che il driver deve fornire a tutti i poli una tensione e corrente con lo stesso verso, semplificando la costruzione e il funzionamento, con lo svantaggio di utilizzare solo metà dell'avvolgimento per ogni fase, fornendo così meno coppia.



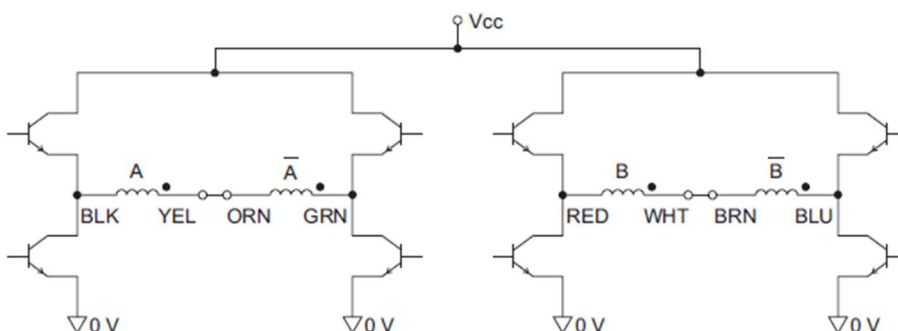


**FIGURA 2.2.2 DRIVER CON CONNESSIONE UNIPOLARE VERSO MOTORE PASSO-PASSO A 8 FILI**  
 (BLOG.ORIENTALMOTOR.COM/WIRING-BASICS-UNIPOLAR-VS-BIPOLAR)

## Connessione Bipolare

L'avvolgimento presenta solo due fili, e il driver applica una tensione positiva o negativa in funzione della fase da attivare. In questo caso il driver fornirà una tensione positiva tra A+ e A- quando va attivata la fase A+ e una tensione negativa tra A- e A+ quando va attivata la fase A-, quindi invertendo la tensione applicata ai capi dell'avvolgimento.

In questa connessione viene utilizzato tutto l'avvolgimento per ogni fase, poiché la bobina viene interamente attraversata da corrente, ottenendo così una coppia maggiore rispetto alla connessione unipolare, dovendo però utilizzare un driver più complesso, che è in grado di invertire la tensione sull'avvolgimento. Solitamente viene utilizzato un ponte ad H con dei transistor attivati a coppie in senso diagonale (uno per fase).



**FIGURA 2.2.3 DRIVER CON CONNESSIONE BIPOLARE (SERIE) VERSO MOTORE PASSO-PASSO A 8 FILI**  
 (BLOG.ORIENTALMOTOR.COM/WIRING-BASICS-UNIPOLAR-VS-BIPOLAR)

La connessione bipolare descritta sopra viene detta bipolare serie, dove i due avvolgimenti della fase vengono collegati in serie. Un ulteriore svantaggio di questa connessione rispetto a quella unipolare è che l'induttanza della fase è maggiore, utilizzando l'intero avvolgimento, questo comporta una maggiore perdita di coppia all'aumentare della velocità di rotazione.

Per ovviare a questo problema un altro tipo di connessione bipolare utilizzata è quella parallelo, dove i due avvolgimenti della fase sono collegati in parallelo, in questo modo l'induttanza è equivalente alla connessione unipolare, pur utilizzando comunque l'intero avvolgimento e quindi mantenendo i livelli di coppia della connessione bipolare serie. In questa modalità di connessione la corrente di fase sarà maggiore, rendendo più complessa la realizzazione del driver.

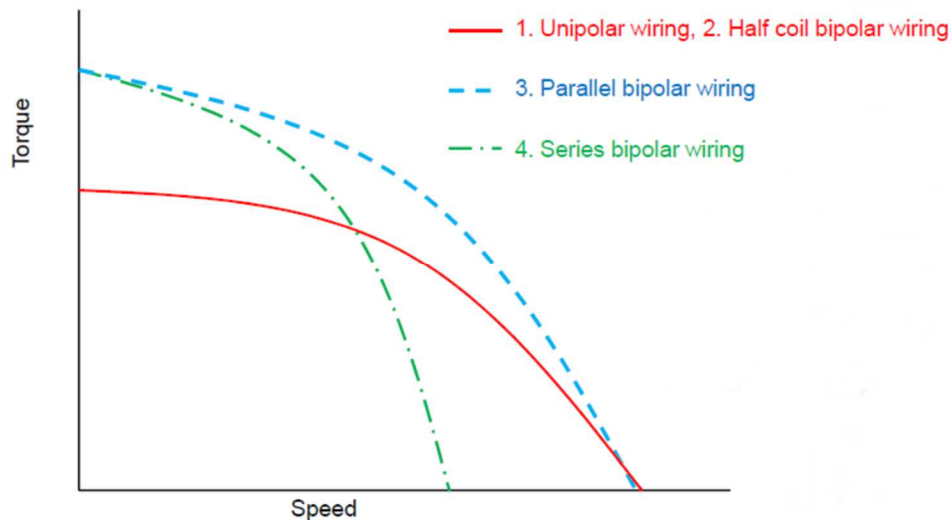


FIGURA 2.2.4 RELAZIONE TRA VELOCITÀ E COPPIA PER LE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI COLLEGAMENTO VERSO IL DRIVER (BLOG.ORIENTALMOTOR.COM/WIRING-BASICS-UNIPOLAR-VS-BIPOLAR)

I tipi di connessione appena descritti non sono una caratteristica propria del driver, ma di come si interfacciano con il driver.

Per motori a sei o otto fili tutte le possibili connessioni sono possibili, dipendendo solo da come vengono cablati verso il driver.

I motori che invece, per semplicità costruttiva, vengono forniti con cinque o quattro fili sono vincolati ad un solo tipo di connessione, in quanto il collegamento tra gli avvolgimenti è interno al motore stesso e quindi fisso. Per i motori a 4 fili il collegamento è di tipo bipolare, per quelli a cinque fili è di tipo unipolare.

La seguente immagine illustra le possibili combinazioni di collegamenti.

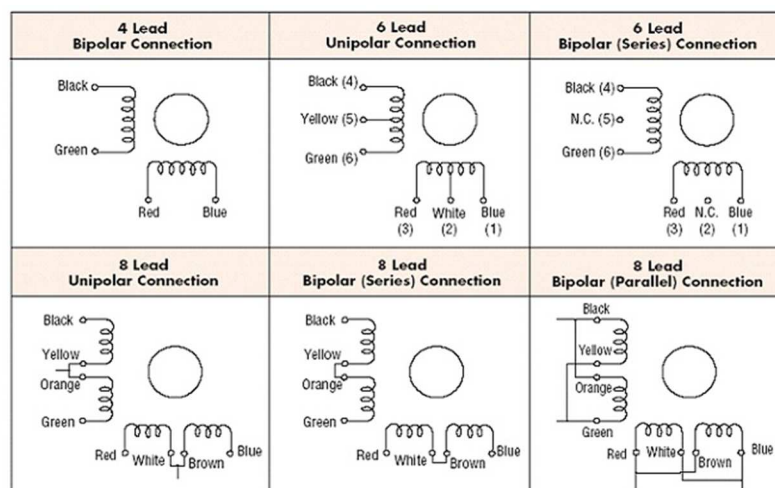


FIGURA 2.2.5 COMBINAZIONE DI COLLEGAMENTO MOTORI PASSO-PASSO

### 2.3.Modalità di pilotaggio

Come visto il motore passo-passo per ruotare necessita l'applicazione agli avvolgimenti di impulsi di tensione in una sequenza precisa. Scopo del driver è anche quello di sequenziare in maniera corretta gli impulsi sulle fasi. Il sequenziamento più semplice degli impulsi fa muovere il motore di un passo ogni cambio di impulsi sulle fasi, ma tramite alcune modalità di sequenziamento è possibile suddividere il singolo passo in ulteriori passi facendo compiere al motore una rotazione angolare inferiore al passo singolo.

#### Full-step

Quando il sequenziamento degli impulsi fa compiere al motore un passo completo la modalità del driver è detta full-step.

Il modo più semplice di realizzare la rotazione full step è quella di alternare le fasi attivando una fase alla volta. Prendendo per esempio un motore bipolare a due fasi e due poli illustrato in Figura 2.3.1 (solitamente il rotore presenta più di due poli per aumentare la risoluzione di movimento, per semplificazione il seguente esempio ne ha due), il primo step viene ottenuto attivando la fase A+, il secondo attivando la fase B+, la terza attivando la fase A-, il quarto attivando B- e così si ottiene una completa rotazione del motore. Questo tipo di sequenziamento viene chiamato "wave" perché l'andamento dei segnali ricorda un'onda. Questo tipo di sequenziamento sebbene il più semplice da realizzare a livello di driver viene quasi sempre sostituito dalla modalità 2 phase on.

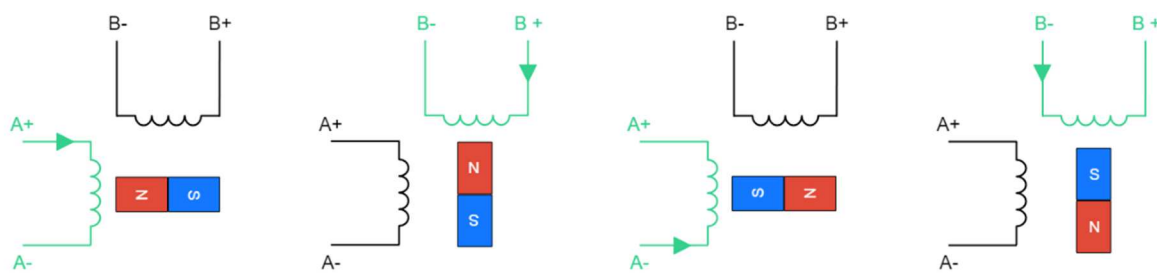


FIGURA 2.3.1 ROTAZIONE DEL MOTORE CON FULL STEP WAVE  
 (WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USSES)

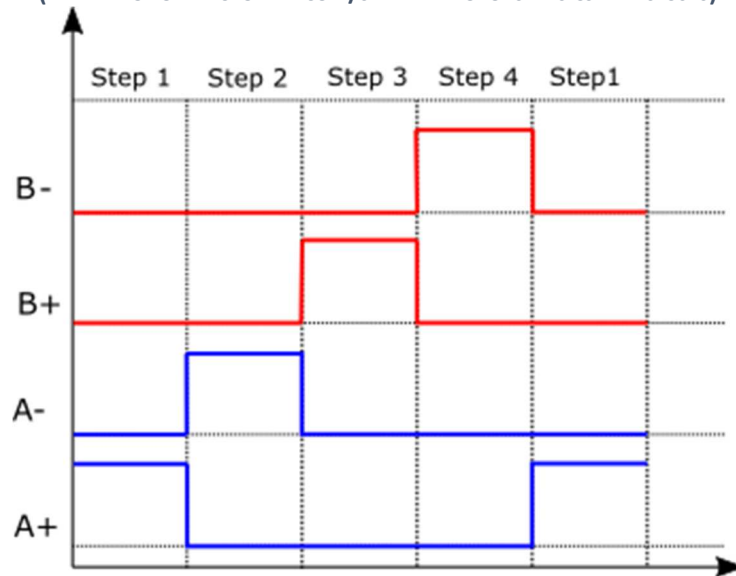


FIGURA 2.3.2 SEQUENZA DEI SEGNALI PER ROTAZIONE FULL STEP WAVE

Un miglioramento rispetto alla precedente modalità di rotazione è quella full step 2 phase on. Come suggerisce il nome si tratta sempre di una rotazione che fa compiere al motore una rotazione di un singolo passo ad ogni cambiamento di sequenza di segnali, ma in questo caso sono sempre attive due fasi contemporaneamente. Nella Figura 2.3.3 è illustrato il motore dell'esempio precedente, In questo caso il primo passo ottenuto attivando le fasi A+ e B+, il secondo passo è ottenuto attivando la fase A+ e B- e così via, cambiando una sola fase rispetto alla coppia di fasi precedenti. Questa modalità è preferita a quella wave poiché avendo sempre due fasi attive contemporaneamente la corrente che attraversa gli avvolgimenti è maggiore e quindi si ottiene una coppia maggiore.

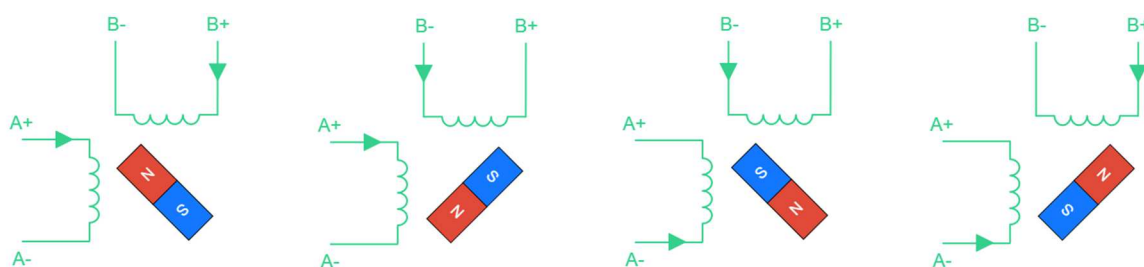


FIGURA 2.3.3 ROTAZIONE DEL MOTORE CON FULL STEP 2 PHASE ON  
 (WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USSES)

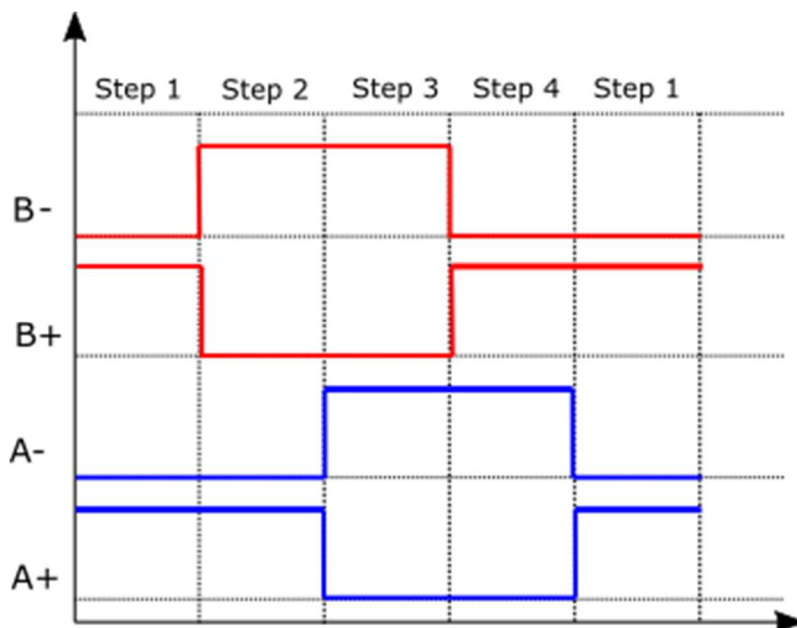
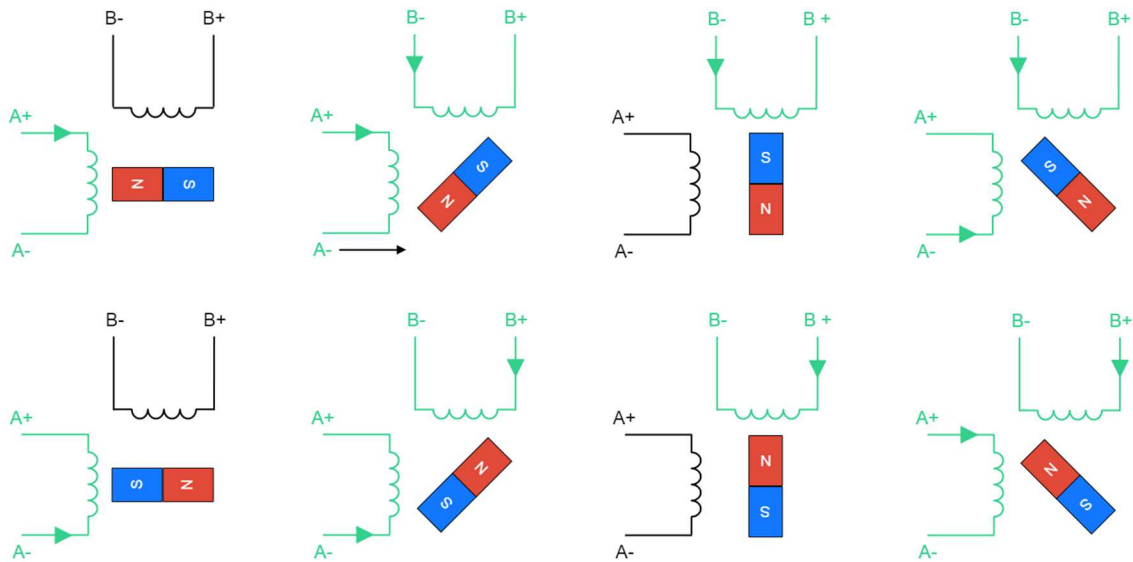


FIGURA 2.3.4 SEQUENZA DEI SEGNALI PER ROTAZIONE FULL STEP 2 PHASE ON

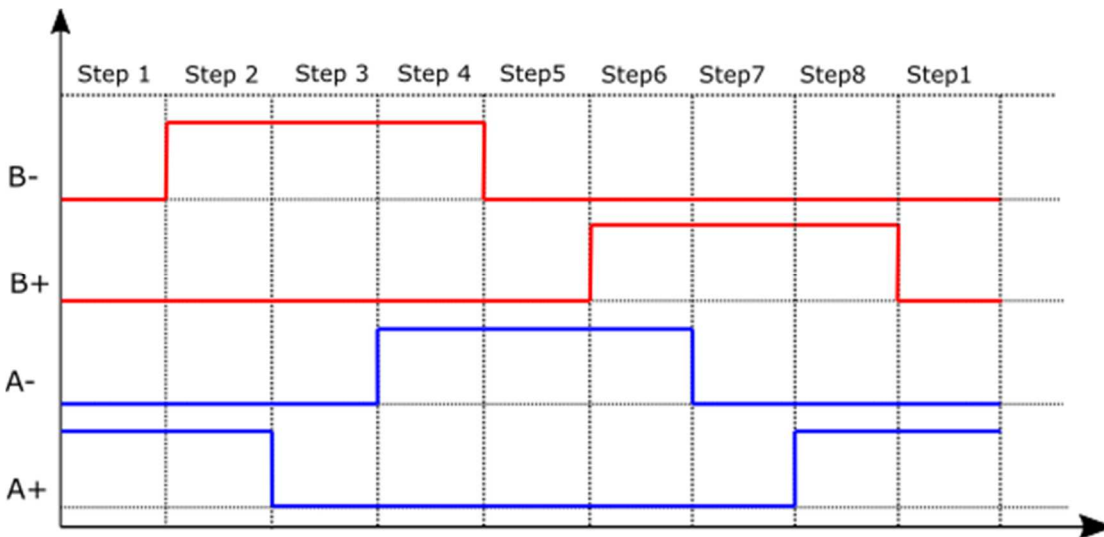
### Half -step

La modalità half-step, come suggerisce il nome, suddivide il passo in due movimenti, effettuando un mezzo passo ad ogni cambio di sequenza di segnali. L'effetto è ottenuto combinando la sequenza full step wave a quella full step 2 phase on. Nella Figura 2.3.5 è raffigurato l'esempio precedente del motore bipolare a due fasi. Il primo step di partenza è ottenuto con l'attivazione della fase A+. Con la successiva attivazione della fase B-, mentre la fase A+ rimane attiva il motore rimane in una posizione intermedia tra il passo 1 e 2. Con il successivo cambio di sequenza di segnali la fase A+ viene disattivata e rimane attiva la fase B-. Il passaggio dallo step intero dato dalla fase A+ a quello dato dalla fase B- è così suddiviso in uno step intermedio. Ripetendo la sequenza per un'intera rotazione si ottiene un numero effettivo di step che è il doppio dei passi interi del motore.

Questa modalità ha il vantaggio di aumentare la definizione riducendo il minimo angolo di rotazione senza dover cambiare le caratteristiche costruttive del motore, tuttavia la coppia fornita dal motore risulta non omogenea in quanto la corrente che attraversa gli avvolgimenti negli step intermedi risulta doppia rispetto agli altri step.



**FIGURA 2.3.5 ROTAZIONE DEL MOTORE CON HALF STEP**  
 (WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES)



**FIGURA 2.3.6 SEQUENZA DEI SEGNALI PER ROTAZIONE HALF STEP**

## Microstepping

Un modo per ottenere un'ulteriore aumento della risoluzione è tramite una ulteriore suddivisione di passi. Come nella modalità precedente viene sfruttato il passaggio da un passo intero all'altro per ottenere una suddivisione in ulteriori sotto-passi. Rispetto alla modalità half step dove lo step intermedio viene ottenuto mediante l'attivazione di due fasi in questo caso la corrente viene modulata riducendo gradualmente la corrente di una fase e aumentando della stessa quantità la corrente nella fase successiva.

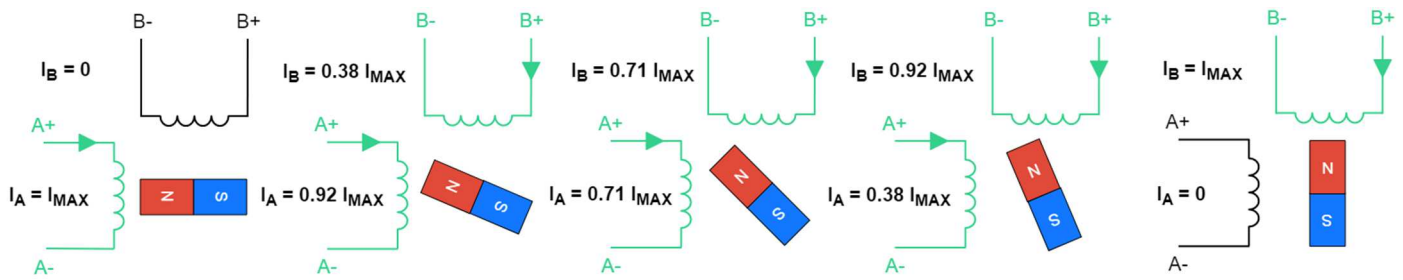


FIGURA 2.3.7 ROTAZIONE DEL MOTORE CON MICROSTEPPING  
 (WWW.MONOLITHICPOWER.COM/STEPPER-MOTORS-BASICS-TYPES-USES)

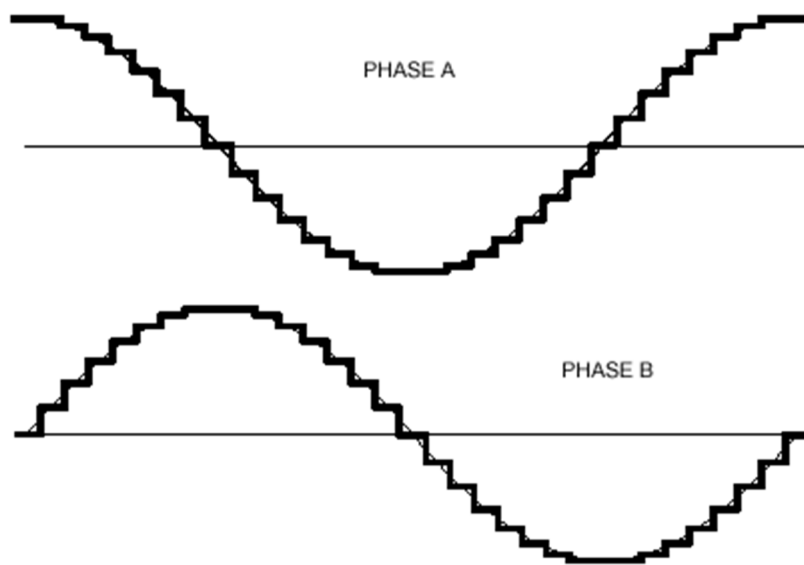


FIGURA 2.3.8 ANDAMENTO DELLA CORRENTE NELLE FASI NELLA SEQUENZA MICROSTEPPING  
 (HTTPS://FORUMS.PARALLAX.COM/DISCUSSION/136024/DOING-MICROSTEPPING-WITH-THE-PROPELLER)

Questa modalità garantisce una maggiore precisione sulla posizione angolare del motore, potendo ridurre il passo intero anche fino a 256 passi, ottenendo così un'ottima risoluzione. Inoltre l'andamento della corrente che approssima una sinusoide rende la rotazione del motore meno brusca e riduce le vibrazioni. La corrente che attraversa gli avvolgimenti è sempre la stessa durante tutti gli step intermedi, ed è pari alla corrente nominale di avvolgimento. I principali svantaggi di questa soluzione sono la maggior complessità circuitale del driver necessaria a generare i segnali di controllo e il fatto che per un alto numero di passi intermedi la coppia generata da un passaggio da un microstep all'altro può essere inferiore alla coppia necessaria a far ruotare l'asse se collegato ad un carico, questo comporta la necessità di dover fare più passi per ottenere una rotazione, con una possibile perdita di precisione.

## 2.4. Tipologia di circuito del driver

Oltre al tipo di connessione verso il motore e il tipo di sequenziamento delle fasi è possibile suddividere i driver per motori passo-passo in due categorie dipendenti dal circuito utilizzato per l'attivazione delle fasi e quindi il modo con cui viene determinata la corrente sull'avvolgimento: tensione costante o corrente costante.

### Driver a tensione costante (L/R)

Il driver a tensione costante è il modo più semplice di realizzare un circuito di un driver per EEV. È costruito in modo da fornire all'avvolgimento della fase una tensione costante, per esempio utilizzando dei transistor come interruttori che una volta attivati forniscono al driver la tensione fornita dall'alimentatore. Il driver viene selezionato in modo che la tensione fornita corrisponda a quella nominale dell'avvolgimento del motore (o leggermente maggiore per compensare cadute di tensione dovute al driver).

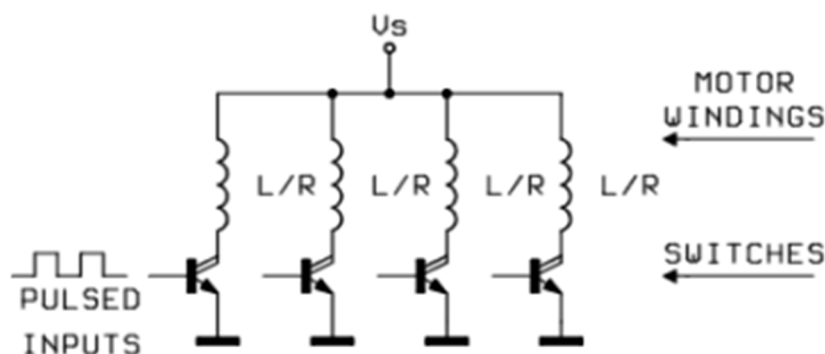
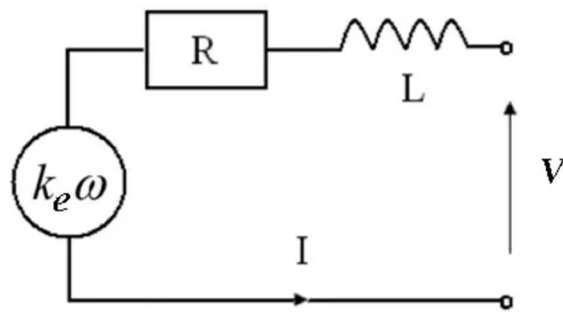


FIGURA 2.4.1 REALIZZAZIONE DI UN DRIVER A TENSIONE COSTANTE  
(AN468 APPLICATION NOTE - STEPPER-MOTOR PERFORMANCE CONSTANT-CURRENT CHOPPER DRIVE UPS)

Il nome L/R è dovuto al fatto che la corrente nell'avvolgimento è determinata dalle proprietà del motore stesso, in particolare l'induttanza e la resistenza dovuta agli avvolgimenti del motore. La connessione driver-circuito può essere rappresentata da un circuito LR in serie





**FIGURA 2.4.2 RAPPRESENTAZIONE DELL'AVVOLGIMENTO COME CIRCUITO LR SERIE**  
 (WWW.MOTIONCONTROLTIPS.COM/WHAT-IS-CONSTANT-VOLTAGE-DRIVE-FOR-STEPPER-MOTOR-AND-WHEN-IS-IT-USED/)

Applicando la tensione all'avvolgimento la corrente inizia a crescere fino a raggiungere un valore a regime determinato dalla resistenza  $R$ . Il transitorio in cui la corrente raggiunge il valore a regime è caratterizzato dalla costante di tempo definita come  $\tau=L/R$  che rappresenta il tempo in cui la corrente raggiunge circa il 63% del valore nominale.

Con il crescere della frequenza con la quale l'impulso di tensione viene applicato, che dipende dalla velocità con cui viene pilotato il motore, entrano in gioco alcuni fattori che limitano la corrente nell'avvolgimento (la corrente massima si ha a frequenza 0):

- Aumento della reattanza induttiva, aumentando l'impedenza dell'avvolgimento che causa una riduzione della corrente.
- Aumento della f.e.m. che viene generata dalla rotazione del motore, che ruotando agisce come generatore producendo una tensione opposta a quella di alimentazione proporzionale alla velocità di rotazione
- Tempo di crescita della corrente non sufficiente. Se il tempo per il quale viene applicato l'impulso non è sufficientemente lungo la corrente non riesce a raggiungere il valore a regime.

Quindi con il crescere della velocità e quindi della frequenza di attivazione delle fasi la corrente massima che può raggiungere l'avvolgimento diminuisce. La coppia che il motore fornisce è proporzionale alla corrente che attraversa gli avvolgimenti, quindi con questa soluzione le prestazioni del motore diminuiscono all'aumentare della velocità.

Per questa limitazione un driver a tensione costante viene scelto per applicazioni con basse velocità di rotazione, applicazioni a basso costo (spesso associati a motori unipolari), o dove la dimensione fisica del driver o basse tensioni di alimentazione sono richieste.

Una strategia per aumentare le prestazioni del driver a tensione costante è quello di aggiungere una resistenza in serie all'avvolgimento in modo da aumentare la resistenza totale dell'avvolgimento (tipicamente due o quattro volte la resistenza di avvolgimento) in modo da diminuire la costante di tempo migliorando le prestazioni a regimi di rotazione più elevati.

Questa soluzione risulta inefficiente, dovendo aumentare la tensione per compensare l'aumento di resistenza anche la potenza dissipata aumenta.

### Driver a corrente costante (Chopper driver)

Questo tipo di driver viene realizzato in modo da controllare direttamente la corrente nell'avvolgimento in modo da mantenerla costante durante l'attivazione della fase. Il principio di funzionamento è quello di utilizzare una tensione superiore a quella nominale dell'avvolgimento (arrivando anche a rapporti di 8:1) per poi modularla.

Tipicamente il circuito viene realizzato con un transistor che opera da interruttore sulla tensione di alimentazione, una resistenza in serie all'avvolgimento per rilevare la corrente che lo attraversa e una parte di circuito che si occupa di misurare la tensione sulla resistenza di shunt (per esempio tramite un comparatore o un ADC) e attivare e disattivare il transistor. Spesso questo tipo di driver viene associato ad un motore bipolare, in questo caso il circuito viene realizzato tramite un ponte ad H (vedi Figura 2.4.5).

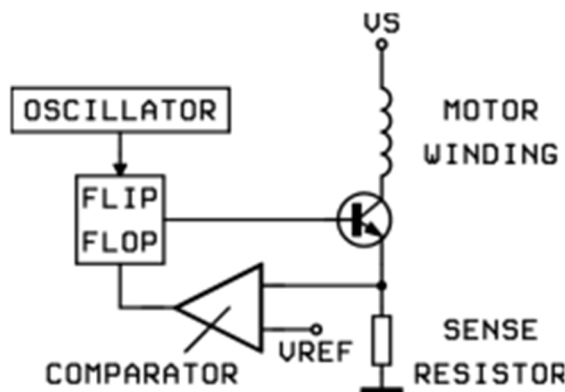
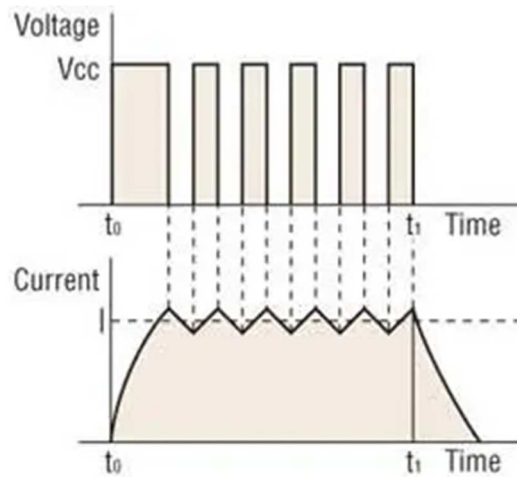


FIGURA 2.4.3 REALIZZAZIONE DI DRIVER A CORRENTE CONTINUA  
(AN468 APPLICATION NOTE - STEPPER-MOTOR PERFORMANCE CONSTANT-CURRENT CHOPPER DRIVE UPS)

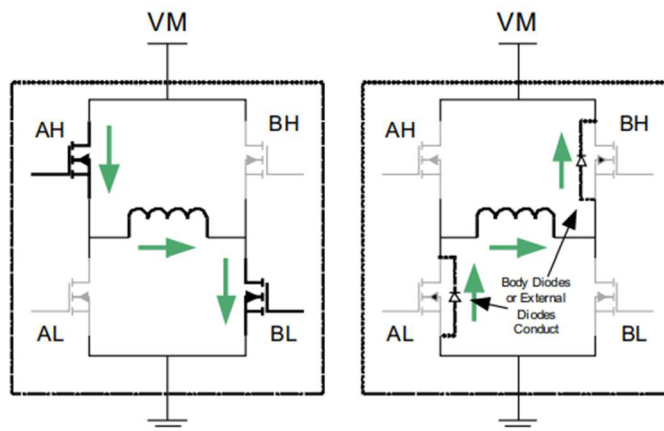
L'alta tensione di alimentazione applicata garantisce un rapido aumento della corrente nell'avvolgimento. Quando la corrente nell'avvolgimento raggiunge il livello desiderato la corrente viene controllata attivando e disattivando la tensione di alimentazione secondo una modulazione PWM, con una frequenza tipicamente superiore ai 20 kHz. Il duty-cycle viene determinato dalla misura della tensione sulla resistenza di rilevamento della corrente e una opportuna tensione di riferimento, che viene determinata in modo da ottenere una corrente media sull'avvolgimento pari a quella nominale.



**FIGURA 2.4.4** RELAZIONE TRA MODULAZIONE DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE E CORRENTE NELL'AVVOLGIMENTO  
 (WWW.MOTIONCONTROLTIPS.COM/STEPPER-DRIVES-WHATS-THE-DIFFERENCE-BETWEEN-AN-L-R-DRIVE-AND-A-CHOPPER-DRIVE/)

Nella fase di off della modulazione di tensione di alimentazione il driver non fornisce più corrente all'avvolgimento ed è necessario trovare un percorso sicuro per la corrente di avvolgimento che permetta alla corrente di decrescere verso zero oppure verso un nuovo valore di corrente senza danneggiare i transistor.

Un modo per ottenere un percorso per lo scorrimento della corrente in fase di off è quello di utilizzare dei diodi di ricircolo: durante la fase di off tutti i transistor sono disattivati. La corrente nell'avvolgimento che a causa dell'avvolgimento non può andare istantaneamente a zero e mantiene il verso precedente trova l'unico percorso dove scorrere attraverso i diodi opposti ai transistor precedentemente attivati. Questa modalità viene chiamata decay asincrono, poiché non è conosciuto l'istante in cui i diodi iniziano a condurre rispetto a quando i transistor vengono disattivati. Per questa applicazione vengono utilizzati i body diode già presenti nel mosfet oppure un diodo discreto in parallelo al transistor.



**FIGURA 2.4.5** PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL DECAY ASINCRONO. NELL'IMMAGINE DI SINISTRA LA FASE DI ON E NELL'IMMAGINE DI DESTRA LA FASE DI OFF.

(R. MURUGAVEL, CURRENT RECIRCULATION AND DECAY MODES, TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED)

Per garantire in modo preciso l'inizio e il tempo di decadimento vengono utilizzati i transistor stessi per fornire un percorso di circolazione della corrente. Questa modalità viene chiamata decay sincrono. In funzione di quali transistor vengono attivati si applica un decay veloce o lento.

Il Fast Decay (illustrato nella parte destra della Figura 2.4.6) viene ottenuto attivando i transistor opposti a quelli attivi durante la fase di on, in questo modo all'avvolgimento viene applicata una tensione (quella di alimentazione) con polarità opposta a quella dell'avvolgimento, facendo decadere così la corrente nel minor tempo possibile. Per evitare di avere transistori dove due transistor dello stesso lato sono in conduzione viene introdotto un tempo di attesa tra la disattivazione e l'attivazione dei transistor dove nessun transistor è in conduzione (come nel decay asincrono).

Lo Slow (illustrato nella parte centrale della Figura 2.4.6) viene ottenuto attivando entrambi i transistor della parte alta o bassa del ponte ad H, in questo modo la corrente circola all'interno del circuito formato dall'avvolgimento e i transistor e decade secondo la costante di tempo  $RL$  del circuito, dove  $R$  è data dalla serie delle due  $R_{ds(on)}$  dei transistor. Anche in questo caso è previsto un tempo morto tra periodo di on e di ricircolo (off) nel quale tutti i transistor sono disattivati. In questa modalità la f.e.m. generata dalla rotazione del motore viene cortocircuitata risultando in una rapida decelerazione della velocità di rotazione del motore. In alcune applicazioni dove è importante avere un determinato tempo di decremento della corrente, per esempio se viene utilizzato il microstepping dove è necessario mantenere una certa forma nell'andamento della corrente di avvolgimento, viene utilizzato il Mixed Decay, ovvero una combinazione di entrambe le modalità di decadimento della corrente in fase di off in modo da ottenere una velocità di decadimento a metà strada tra quella lenta e veloce a seconda della durata delle due all'interno della fase di off.

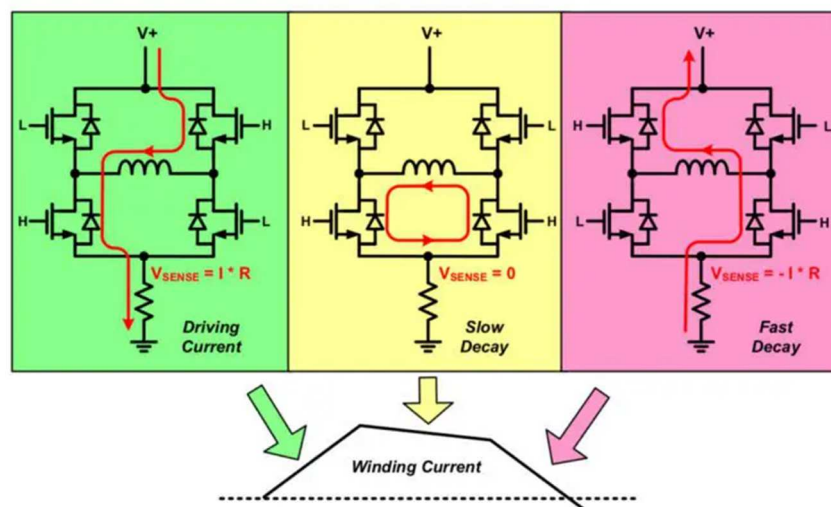


FIGURA 2.4.6 FAST DECAY E SLOW DECAY IN UN DRIVER A CORRENTE COSTANTE CON PONTE AD H

([HTTPS://WWW.MOTIONCONTROLTIPS.COM/WHAT-IS-CURRENT-DECAY-IN-A-STEPPER-DRIVE/](https://www.motioncontroltips.com/what-is-current-decay-in-a-stepper-drive/))

### 3. Verifica di compatibilità tra driver e valvola EEV

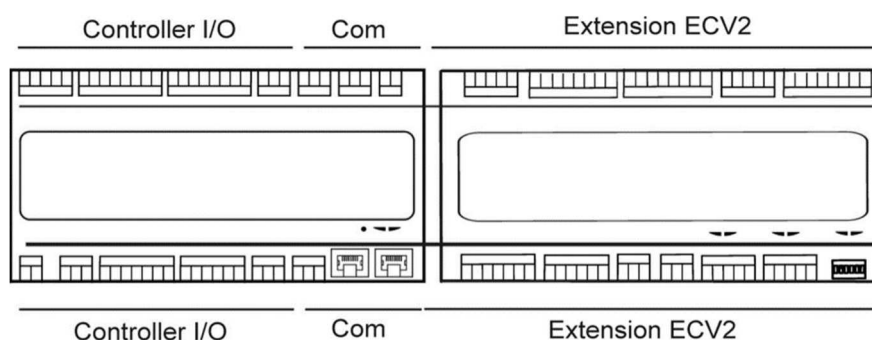
Nel mondo dell’HVAC sono disponibili commercialmente delle soluzioni combinate di valvola di espansione elettronica e driver fornite dallo stesso produttore dove il driver stesso si occupa della regolazione della regolazione della valvola oltre che il pilotaggio fisico della valvola. Il controllo di macchina si interfaccia al driver tramite un protocollo seriale oppure funziona in maniera indipendente alla regolazione generale (drive EEV standalone).

Spesso però i costruttori adottano fornitori differenti per valvola di espansione elettronica e driver, che può essere un hardware dedicato o integrato nell’hardware del sistema di controllo. Per qualificare i componenti e garantire l’affidabilità della combinazione driver e valvola di espansione è necessario verificare che il pilotaggio della valvola sia conforme con le caratteristiche elettriche specificate dal produttore della valvola. Solitamente il produttore dichiara quali sono le valvole compatibili che è possibile utilizzare in combinazione con il driver.

In questa parte vengono misurati i segnali di pilotaggio del driver per verificare che siano compatibili con quanto dichiarato nel datasheet della valvola di espansione elettronica.

#### 3.1. Dettagli su driver e EEV utilizzati

Il sistema di controllo impiegato nell’unità analizzata è un PLC Siemens Climatix, una famiglia di PLC modulari composto da una scheda principale e una serie di schede di espansione componibili. Il sistema include una scheda di espansione POL98U.00 che integra due driver per EEV.



**FIGURA 3.1.1 ESEMPIO DI CONFIGURAZIONE PLC CLIMATIX CON CONTROLLORE PRINCIPALE (A SINISTRA) E SCHEDA DI ESPANSIONE CON DRIVER EEV (A DESTRA)**

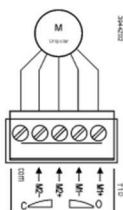
(CLIMATIX EXTENSION MODULES ECV2 – DATASHEET, SIEMENS SWITZERLAND LTD.)

Nel datasheet del driver vengono elencate le caratteristiche: si tratta di un driver per valvole bipolari con controllo di corrente costante, con frequenza di switching di 50 kHz. È possibile

definire parametricamente la corrente di pilotaggio, la corrente di mantenimento la velocità di rotazione in step al secondo, il numero totale di passi della valvola (traverse path) e il numero di passi eseguiti per il referencing della valvola (overdrive), utilizzati per chiudere o aprire la valvola di un numero superiore di passi rispetto a quelli totali per eliminare un'eventuale offset dovuto alla perdita di passi.

Motor driver	Driver for bipolar stepper motor	
M1+...COM (T10, T11)	Constant-current mode	Short-circuit proof
	Switching frequency	50 kHz (variable)
	Full-step mode	4 steps per revolution
	Programmable current	0.1...0.5 A <sup>1)</sup>
	Programmable hold current	0...0.5 A
	Motor voltage	Max. 42 V
	Programmable speed	Max. 500 steps per s
	Programmable traverse path	0...30,000 steps
	Programmable overdrive	0...2,500 steps
	Programmable reference point	Zero or Max. point
	Max. output power for each motor	10 W
	Length of motor cable	<10 m
	UPS (POL98U.00)	
	Energy storage	Ultracaps (6 x 25F at 2,21 V)
	Usable energy	187Ws
	Charging time	<3 min

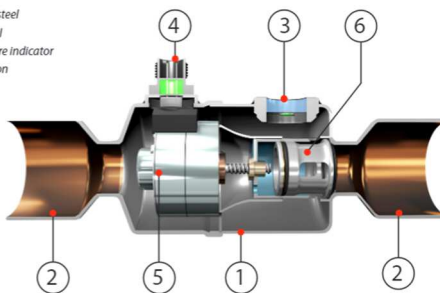
<sup>1)</sup> from VVS11 0.05...0.6A



**FIGURA 3.1.2 CARATTERISTICHE DEL DRIVER EEV DELL' ESPANSIONE POL98U.00**  
(CLIMATIX EXTENSION MODULES ECV2 – DATASHEET, SIEMENS SWITZERLAND LTD.)

La valvola di espansione impiegata nell'unità è una Danfoss ETS Colibri, composta da un motore passo-passo a magneti permanenti collegato ad un attuatore lineare che muove l'elemento scorrevole che determina l'apertura della valvola. La corrente di avvolgimento media è di 600 mA, il numero di passi è 600 e la velocità di chiusura è 240 step/s. Non viene richiesta una corrente di mantenimento, in quanto la forza applicata dal refrigerante che attraversa la valvola non applica una rotazione sull'asse del motore ma è lungo l'asse.

1. Valve body in stainless steel
2. Connections in bi-metal
3. Sight glass with moisture indicator
4. M12 electrical connection
5. Stepper motor
6. Cage and slider



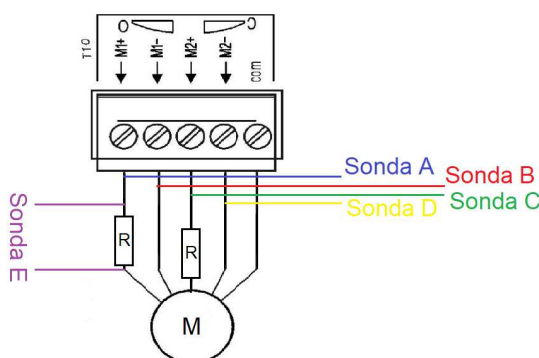
**FIGURA 3.1.3 SEZIONE TRASVERSALE DELLA VALVOLA DI ESPANSIONE DANFOSS COLIBRI**  
(COLIBRI ELECTRIC EXPANSION VALVES – DATASHEET, DANFOSS)

## Electrical data

Motor enclosure	IP67
Stepper motor type	Bi-polar - permanent magnet
Step mode	Microstepping (recommended), 2 phase full step or half step
Phase current	800 mA peak / 600 mA RMS. For more details on 3rd party controllers and lower phase current see section: Driving Colibri valve.
Holding current	No permanent holding current needed. Max. 20% permanent holding current allowed with refrigerant flow through valve For optimal performance, driver should keep 100% current on coils 10ms after last step
Phase resistance	10 $\Omega$ $\pm$ 10% at +20 °C / +68 °F
Inductance	14 mH $\pm$ 25%
Duty cycle	100% possible, requiring refrigerant flow through valve Less than 50% over 120 sec period recommended
Nominal Power consumption	7.44 W RMS at 20 °C (total, both coils)
Total number of full steps	600
Step rate	Current control driver: a. Step type: Microstep (1/4 th or higher): 240 full steps/sec. recommended b. Step type: Full step or Half steps: 240 full steps/sec. recommended Emergency close : 240 full steps/sec. OEMs with 3rd party controller, please contact Danfoss
Step translation	0.0167 mm / step
Full travel time	2.5 at 240 steps / sec
Opening stroke	10 mm / 0.4 in.
Reference position	Overdriving against the full close position
Overdriving performance	1% (6 full steps) Overdrive is recommended for optimum performance 628 steps in closing direction recommended for initialisation Overdriving in open position not recommended
Electrical connection	according to EN 61076-2-101

**FIGURA 3.1.4 CARATTERISTICHE ELETTRICHE DELLA VALVOLA DANFOSS COLIBRI**  
(COLIBRI ELECTRIC EXPANSION VALVES – DATASHEET, DANFOSS)

La misurazione dei segnali di pilotaggio del driver è effettuata tramite un oscilloscopio. Quattro sonde sono collegate alle uscite del drive che sono collegate ai poli degli avvolgimenti delle fasi. Le sonde A e B misurano la tensione ai capi della fase 1 quando viene applicata rispettivamente una tensione positiva (A1) e negativa (A2). Le sonde C e D misurano la tensione ai capi della fase 2 quando viene applicata rispettivamente una tensione positiva (B1) e negativa (B2). Su uno dei due collegamenti della fase è posta una resistenza  $R = 0.1$  Ohm utilizzata per misurare la resistenza che scorre nell'avvolgimento tramite la sonda differenziale E che misura la tensione ai capi della resistenza.



**FIGURA 3.1.5 COLLEGAMENTO DELLE SONDE PER LA MISURAZIONE DEI SEGNALI DI PILOTAGGIO**

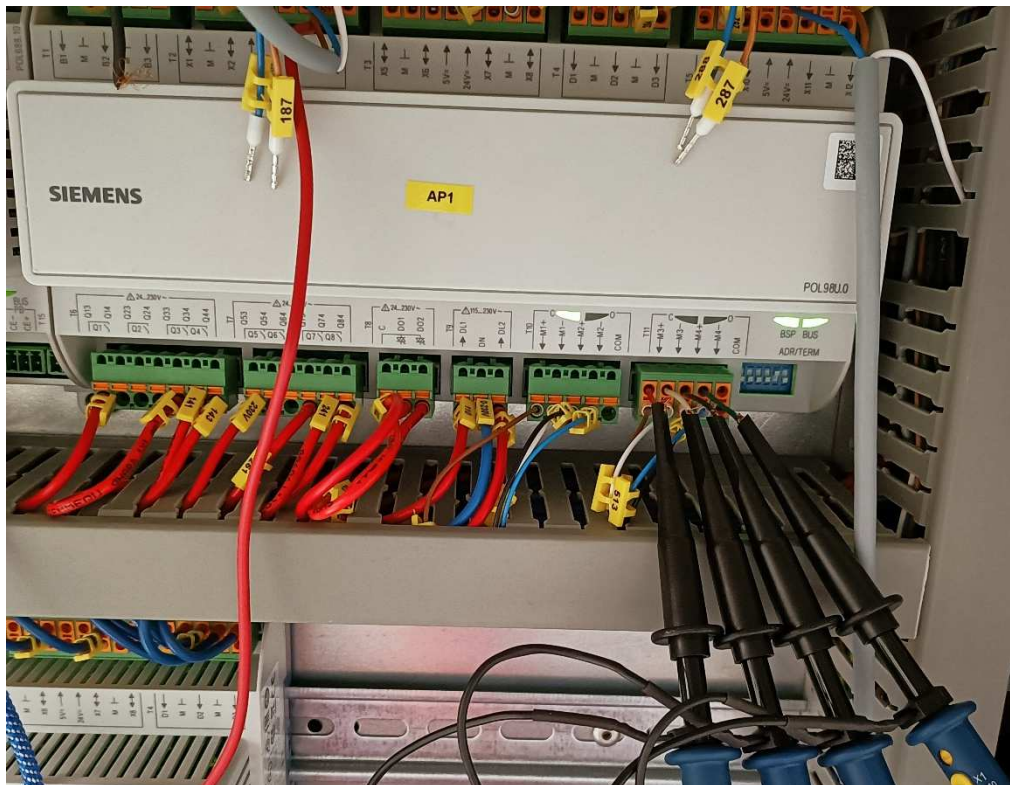


FIGURA 3.1.6 COLLEGAMENTO DELLE SONDE ALLE USCITE DEL DRIVER



### 3.2.Misurazioni dei segnali di pilotaggio

Nella prima misurazione la valvola dalla posizione 0 (completamente chiusa) si muove di 50 passi nella direzione di apertura.

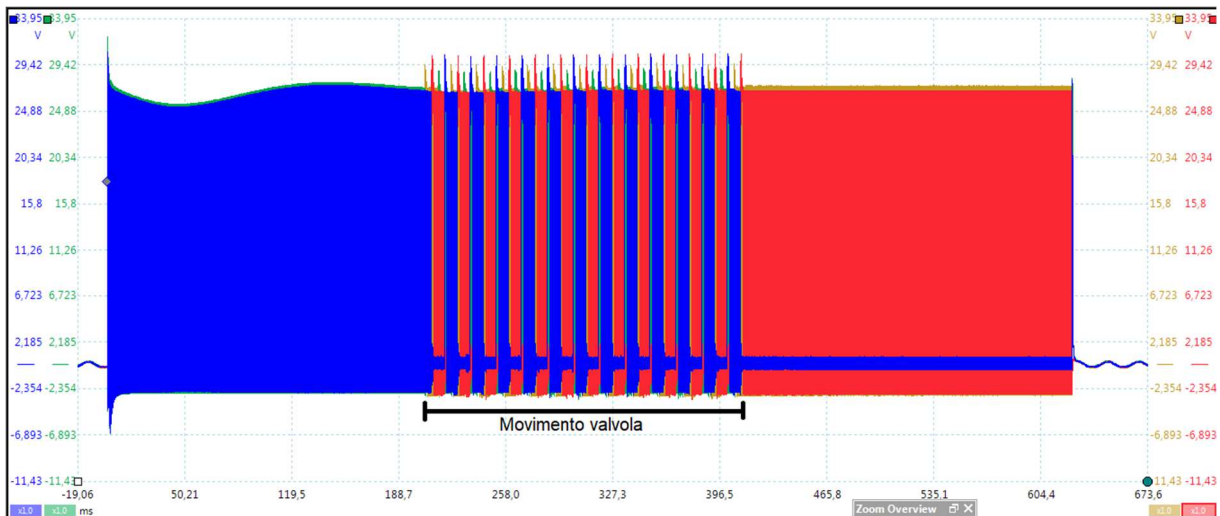


FIGURA 3.2.1 SEQUENZA DI APERTURA DELLA VALVOLA DI 50 STEP

La tensione applicata alla fase è di circa 27 V.

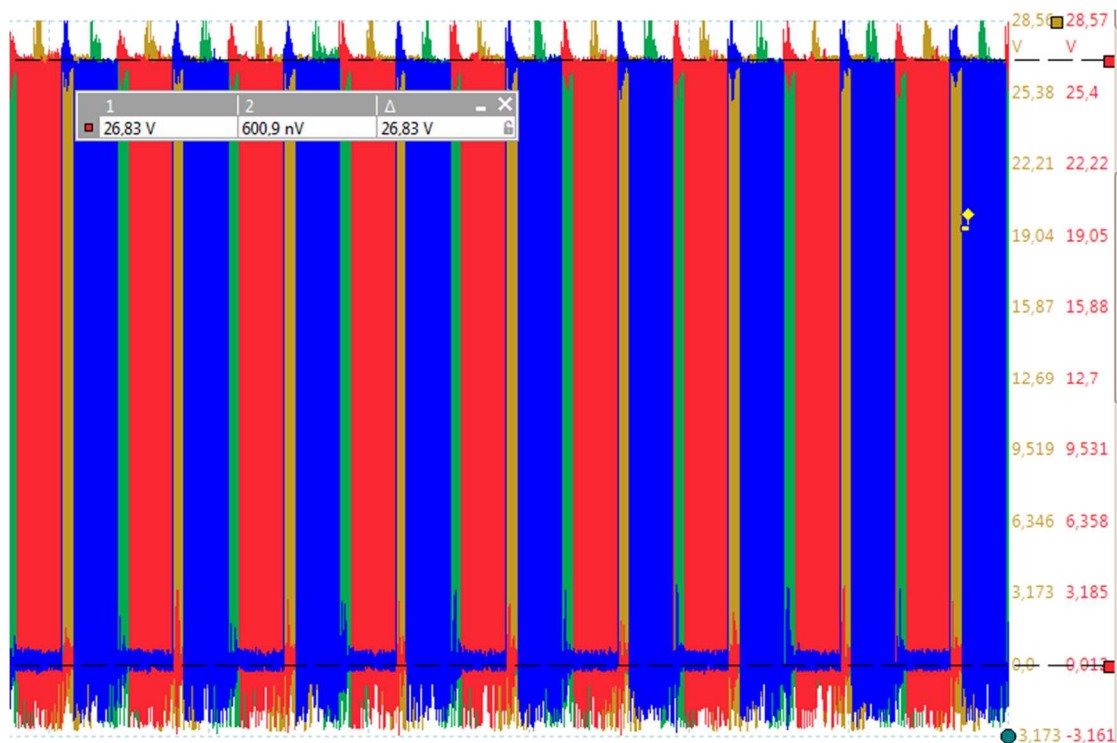
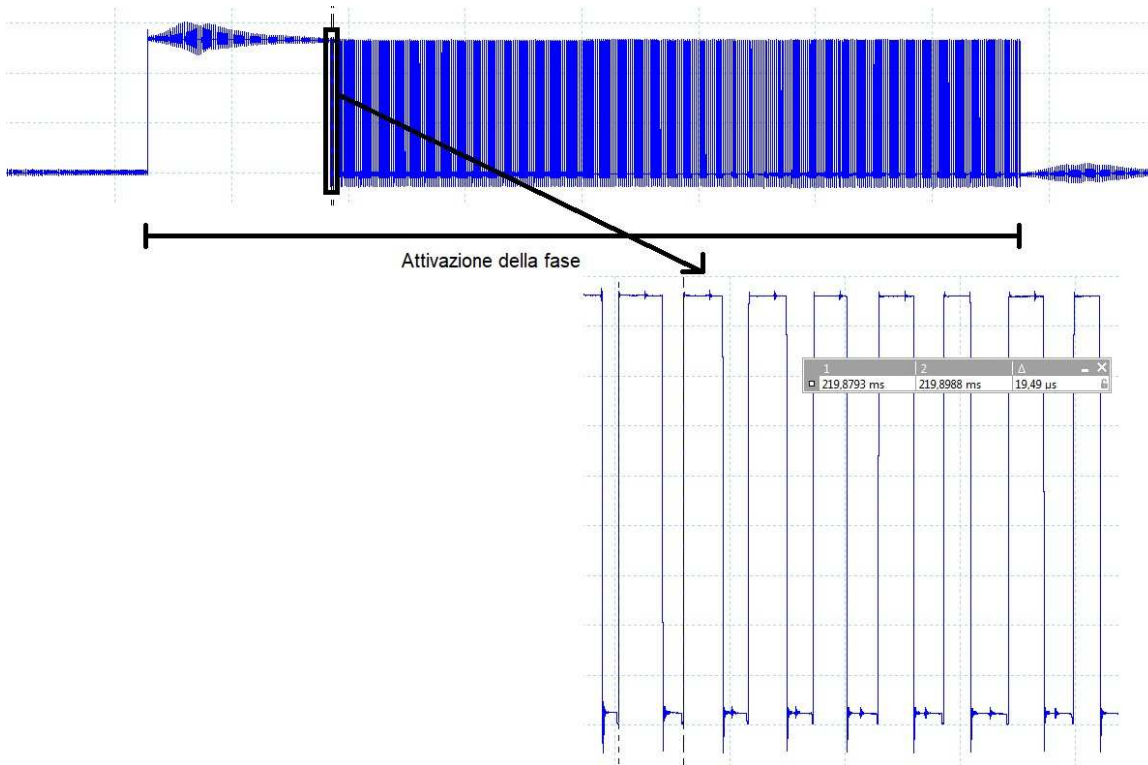


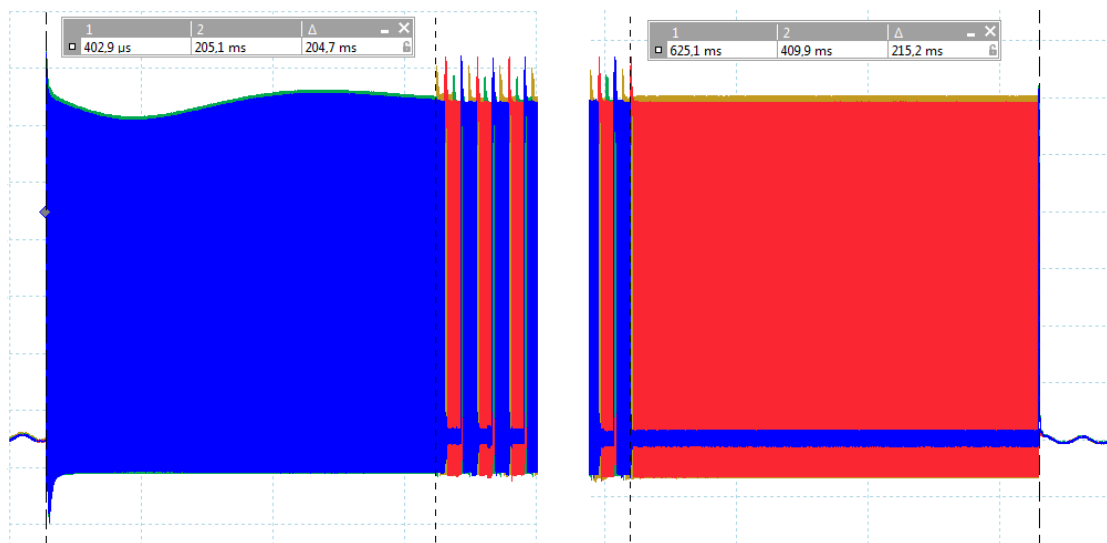
FIGURA 3.2.2 TENSIONE SULLE FASI DURANTE IL MOVIMENTO DELLA VALVOLA

Nella Figura 3.2.3 il dettaglio della fase 1 quando viene attivata: viene applicata la tensione di alimentazione e per un periodo viene mantenuta attiva, successivamente inizia a modulare per mantenere il livello di corrente sull'avvolgimento desiderato. Il periodo della modulazione PWM è di 19,49  $\mu$ s che corrisponde a circa 51 kHz.



**FIGURA 3.2.3 DETTAGLIO DELLA TENSIONE SULLA FASE A1**

Prima e dopo il movimento della valvola il driver mantiene nello step di partenza e nello step finale la corrente sull'avvolgimento per un tempo definito parametricamente nel driver pari a 200 ms. Nella registrazione il tempo di attesa nello step finale mantenendo la corrente di avvolgimento è molto superiore al tempo di attesa consigliato dal datasheet della valvola. Prima e dopo l'inizio del movimento valvola tutte le fasi sono disattivate, avendo una corrente di mantenimento impostata a zero.



**FIGURA 3.2.4 TEMPO DI ATTESA ALLO STEP DI PARTENZA E ALL'ULTIMO STEP**

La velocità di movimento della valvola definito da datasheet è di 240 step/s che corrisponde ad un tempo di 4,17 ms. Considerando l'intervallo evidenziato nella Figura 3.2.5 in cui la valvola si muove di 49 passi (il 50esimo passo è quello che viene mantenuto per il tempo di delay) il tempo stimato di movimento è di  $49 \cdot 4,17 \times 10^{-3} \text{ s} = 204 \text{ ms}$ . Il tempo di movimento misurato corrisponde con quello stimato.

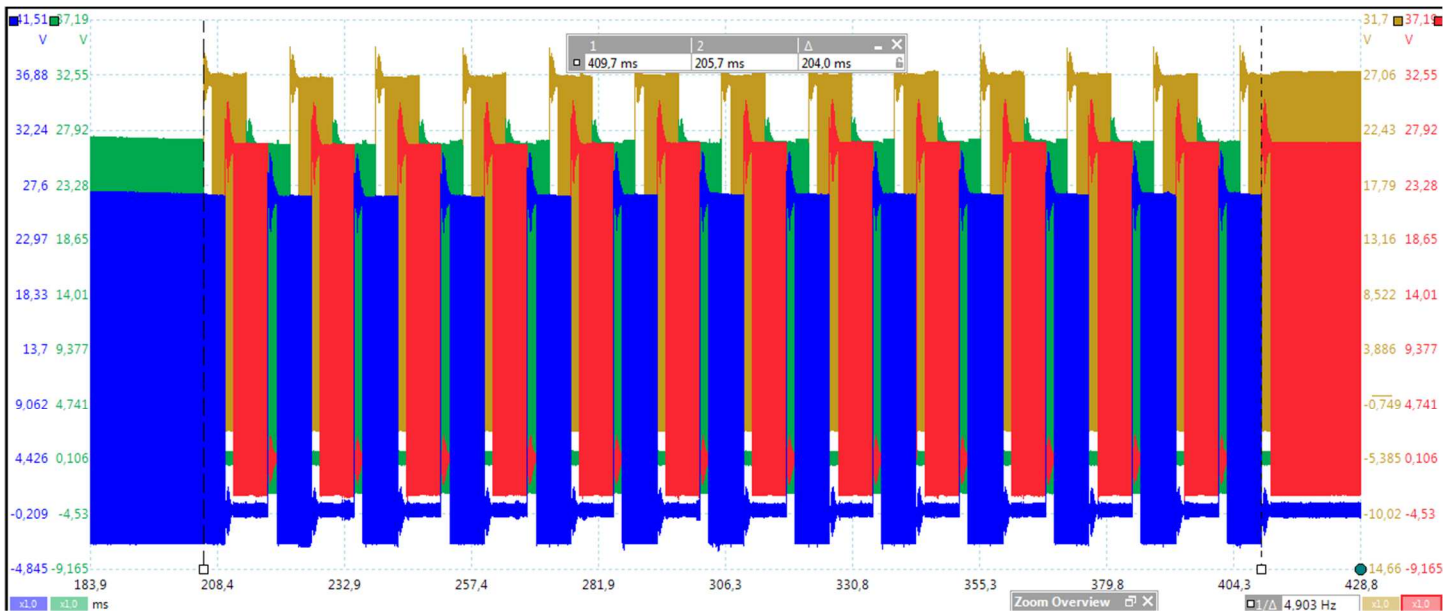


FIGURA 3.2.5 TEMPO DI PERCORRENZA DEL MOVIMENTO DI 50 PASSI

Nella figura 3.2.7 è raffigurato un dettaglio dell'attivazione delle fasi nel movimento della valvola:

TABELLA 3.2.1 SEQUENZA DI ATTIVAZIONE

FASI DA MISURAZIONE	
Step	Fasi attive
1	A1 e B1
2	A1 e B2
3	A2 e B2
4	A2 e B1
5	A1 e B1
6	A1 e B2
7	A2 e B2
8	A2 e B1
9	A1 e B1
10	A1 e B2

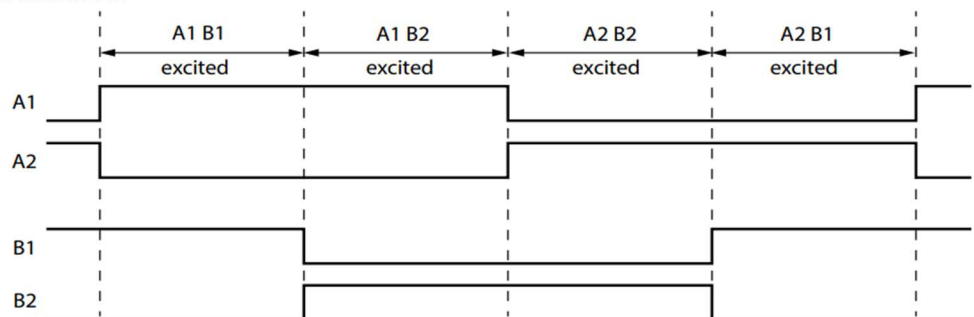


FIGURA 3.2.6 SEQUENZA DI ATTIVAZIONE FASI DA DATASHEET  
(COLIBRI ELECTRIC EXPANSION VALVES – DATASHEET, DANFOSS)

La sequenza di attivazione corrisponde alla modalità full-step 2 phase on. Il datasheet della valvola suggerisce una modalità microstepping che però non è supportata dal driver.

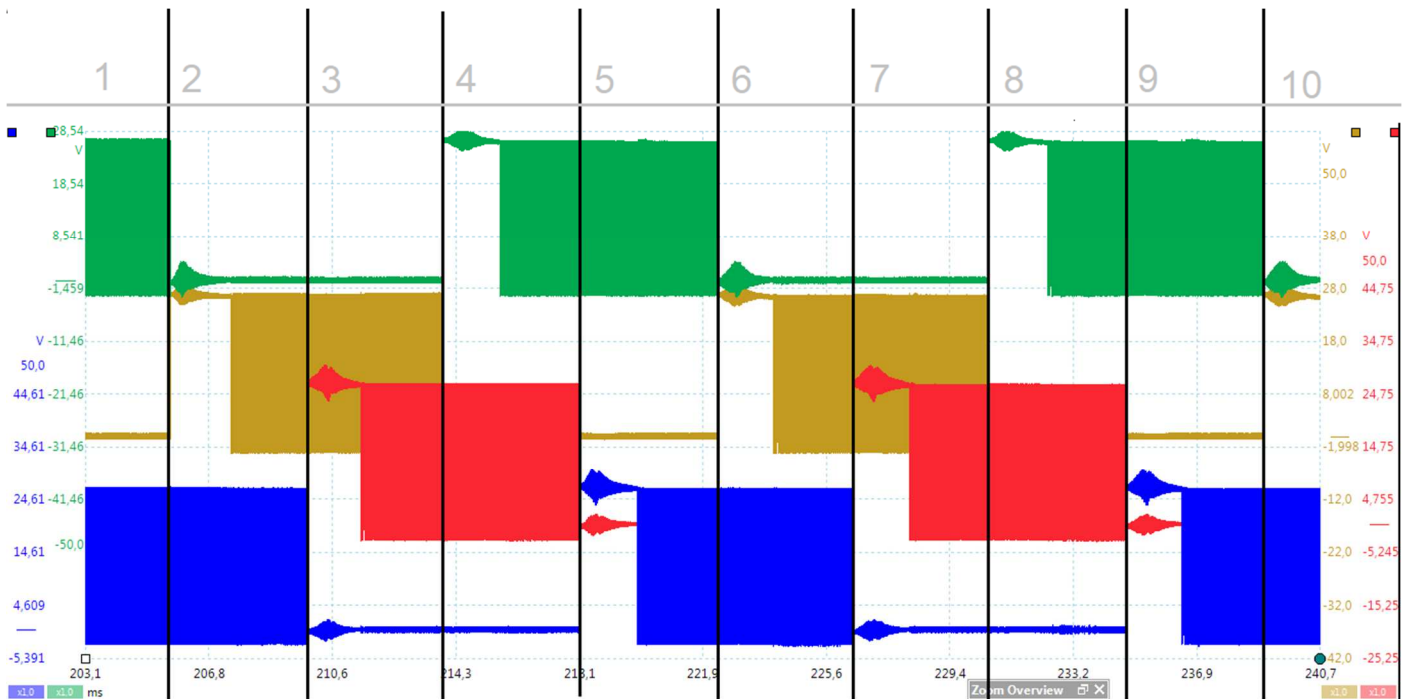


FIGURA 3.2.7 DETTAGLIO DELLA SEQUENZA DI ATTIVAZIONE DELLE FASI DURANTE IL MOVIMENTO.

Nella seconda misurazione la valvola dalla posizione 0 (completamente chiusa) di 600 passi nella direzione di apertura. Come nel caso precedente dato un tempo di step definito a datasheet di  $4.17 \times 10^{-3}$  s, l'apertura di 599 step (l'ultimo step non è considerato nell'intervallo di misurazione) corrisponde a 2,495 s che è compatibile con quanto misurato, tenendo conto di errori di arrotondamento.

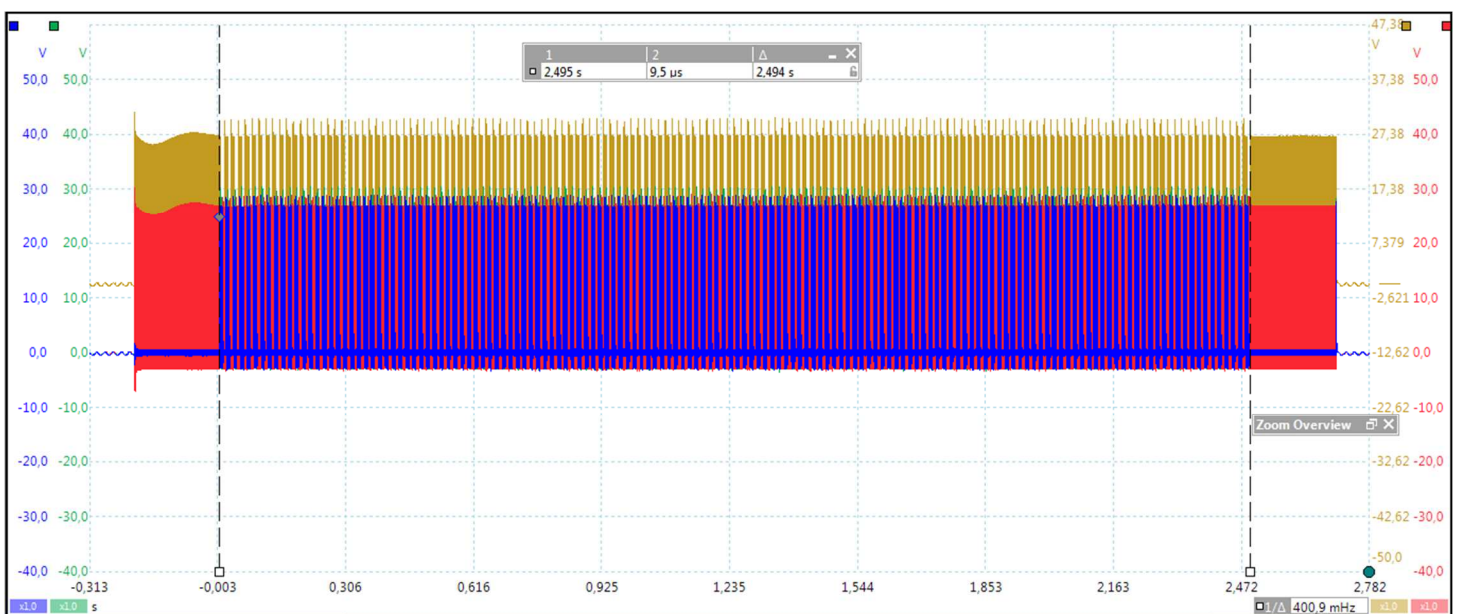


FIGURA 3.2.8 SEQUENZA DI APERTURA DELLA VALVOLA DI 600 STEP (FULL TRAVERSE PATH)

Nella terza misurazione con la valvola dalla posizione di 300 step (50% di apertura) viene dato un comando di emergency close, che consiste nella chiusura della valvola ad una velocità definita da un parametro del driver dedicato e oltre al numero di passi necessari ad arrivare alla posizione di completamente chiuso più un numero di passi definito dall'overdrive.

Da datasheet il numero di passi di overdrive è 6 e la velocità di emergenza è la stessa della normale velocità di movimento, 240 step/s. Per chiudere la valvola il driver dovrà pilotare la valvola in direzione di chiusura per 306 passi. Come nei casi precedenti, non considerando l'ultimo passo nell'intervallo misurato il tempo di chiusura dovrebbe essere 1.2708 s, che corrisponde a quanto misurato, tenendo conto di errori di arrotondamento.

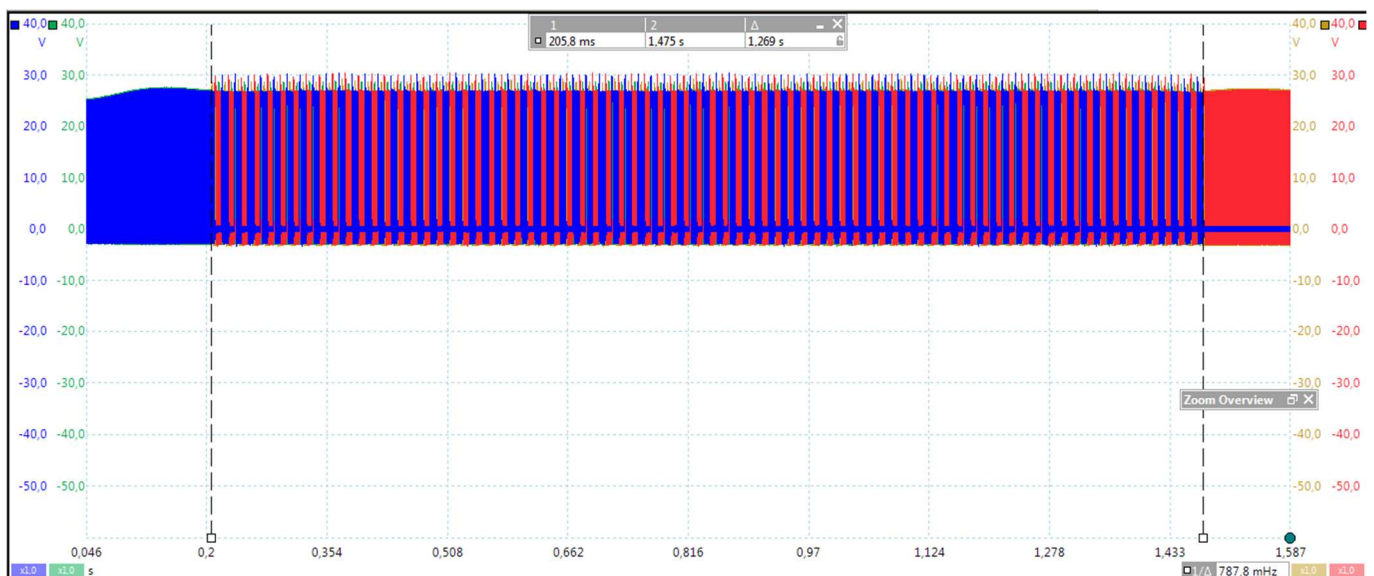


FIGURA 3.2.9 SEQUENZA DI CHIUSURA DI EMERGENZA DELLA VALVOLA DA UNA POSIZIONE DI 300 STEP (50%)

Osservando un dettaglio del movimento, evidenziando un periodo di 20 passi, dal tempo impiegato si determina che la velocità di movimento è di  $8,32 \text{ ms} / 20 \text{ step} = 4,16 \text{ ms}$  che corrisponde ad una velocità di 240 step/s, come il dato nominale definito a datasheet.

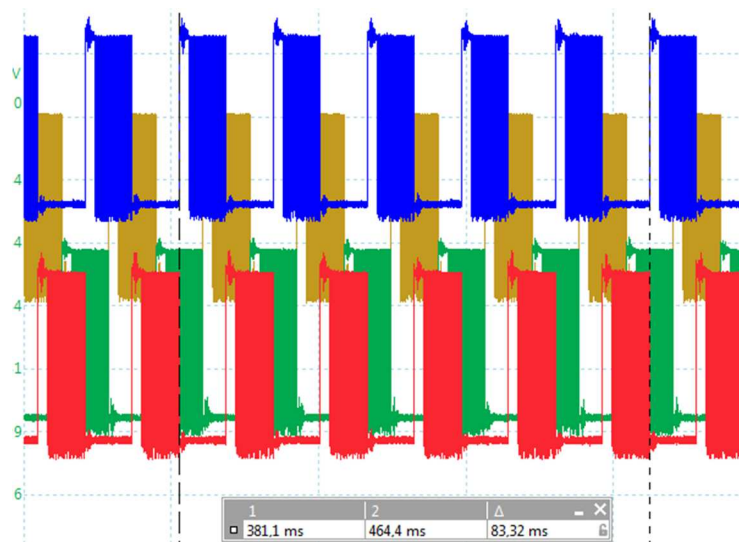


FIGURA 3.2.10 TEMPO DI MOVIMENTO DI 20 STEP CON VELOCITÀ DI EMERGENZA

Nella quarta misurazione effettuata viene inclusa la sonda E che misura la tensione ai capi della resistenza di sensing per verificare la corrente sull'avvolgimento.

Con l'attivazione del primo passo la corrente da zero sale fino ad un valore di circa 590 mA mantenendola per il tempo di attesa e successivamente viene alternata secondo l'attivazione delle fasi tra un valore di circa 588 mA (fase A1) e 590 mA.

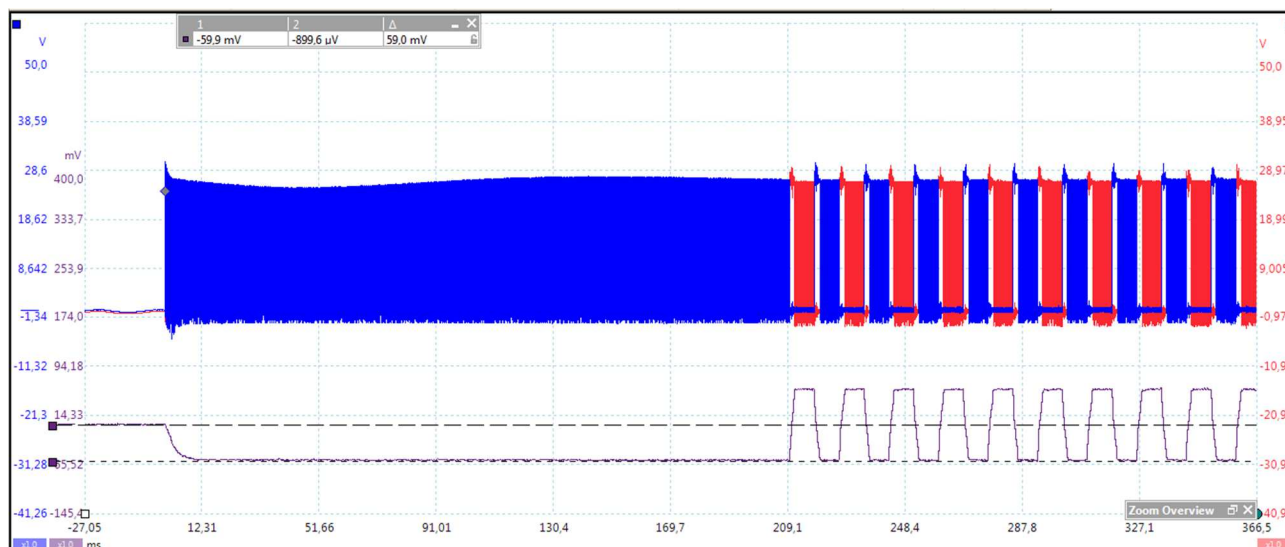


FIGURA 3.2.11 ANDAMENTO DELLA CORRENTE SULLA FASE A

Nella figura 3.2.12 il dettaglio dell'andamento della corrente. Si nota che all'attivazione della fase A2 e la disattivazione della fase A1 (inversione della tensione sull'avvolgimento) per un primo momento il duty-cycle del PWM è 100% (tensione sempre applicata) fintanto che la corrente non passa dal valore precedente al successivo, dopo di che la tensione inizia a modulare per mantenere il valore corretto.

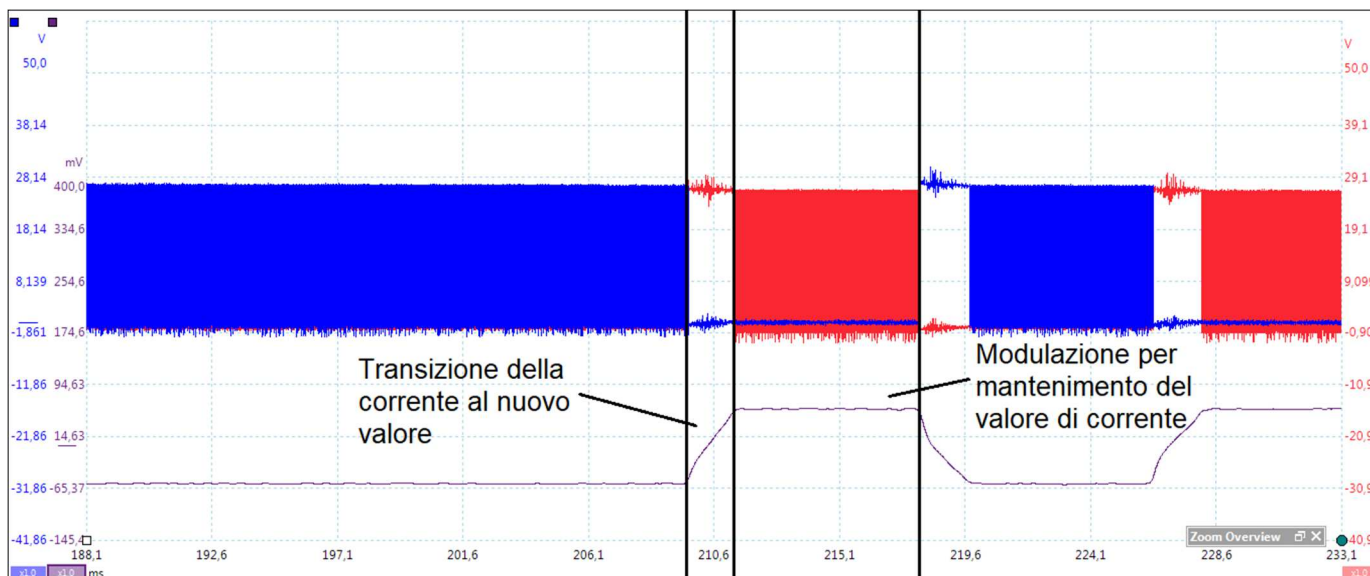


FIGURA 3.2.12 DETTAGLIO DELL'ANDAMENTO DELLA CORRENTE DI FASE DURANTE IL PASSAGGIO DA UNA FASE ALL'ALTRA

Anche se è una modalità di regolazione non prevista dalle impostazioni del driver approvate nella quinta misurazione (Figura 3.2.13) viene registrato un sequenziamento half step. La corrente di avvolgimento (in questo caso è rappresentata la corrente della fase A) rispetto alla modalità precedente passa per uno stato intermedio dove la corrente è a zero. Nello step 1 è attiva la fase A1 e B2 (corrente positiva). Nello step successivo viene disattivata la fase A1 e solo la fase B2 rimane attiva, la corrente passa dunque a zero (si nota la breve attivazione della fase A2 successivamente alla disattivazione della fase A1, probabilmente dovuta al fast decay). Successivamente la fase B viene attivata e la corrente passa al valore nominale, negativo. Nei successivi due passi la fase B2 viene disattivata e la fase B1 viene attivata, la corrente rimane costante. Nei successivi passi la fase A2 viene disattivata e riattivata la fase A1 sempre passando per un passo dove ne A1 ne A2 è attiva e così si completa la sequenza.

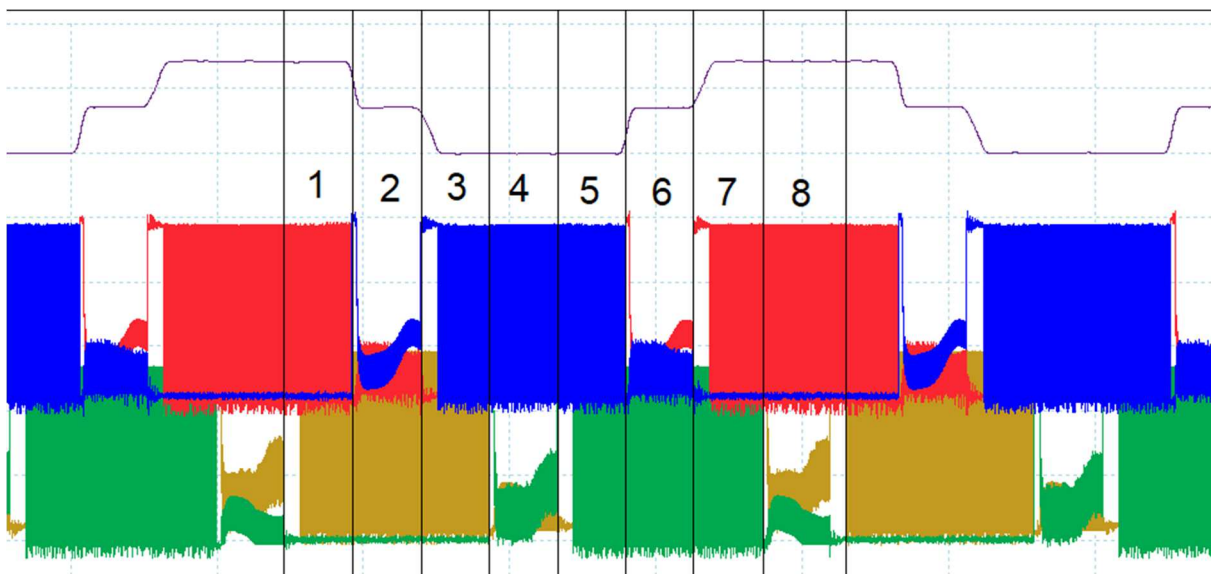


FIGURA 3.2.13 SEQUENZA DI ATTIVAZIONE FASI IN MODALITÀ HALF STEP

## 4. Conclusioni

Nell'introduzione è presentata una breve descrizione della valvola di espansione come elemento fondamentale per il circuito frigo in applicazioni come macchine frigorifere e pompe di calore, al giorno d'oggi quasi sempre nella sua versione elettronica ovvero attuata tramite un motore elettrico, principalmente un motore passo-passo.

Nella prima parte è presente una panoramica sul motore passo-passo e le caratteristiche del driver che lo pilota, descrivendo la tipologia costruttiva del motore (a magneti permanenti, a riluttanza variabile o ibridi), tipologia di collegamento (unipolare o bipolare), modalità di sequenziamento (full step, half step e microstepping) e tipologia costruttiva del driver (controllo di tensione o controllo di corrente).

Nella seconda parte è descritta l'attività di misurazione sui segnali elettrici prodotti dal driver EEV di un'unità di condizionamento (rooftop) con lo scopo di verificare che le caratteristiche del segnale siano corrispondenti a quanto dichiarato a datasheet dal produttore della valvola di espansione.

Dopo una breve descrizione dei due componenti principali presi in esame, il driver EEV Climatix POL98U e la valvola di espansione Danfoss Colibri, elencandone le principali caratteristiche dichiarate a datasheet e dei collegamenti effettuati per la misura si passa all'analisi delle registrazioni effettuate.

I principali parametri da verificare sono il numero di passi, sia quello totale (full traverse path) che quello di overdrive, le tempistiche di velocità di movimento della valvola, il tempo di attesa dopo il posizionamento e i livelli di corrente, sia durante il movimento della valvola che a posizionamento avvenuto.

Basandosi sul tempo impiegato dalla valvola per muoversi di un numero determinato di passi si riscontra che la velocità di movimento è conforme a quanto richiesto, sia per quanto riguarda la velocità di posizionamento che la velocità di chiusura per emergenza, così come il tempo di attesa allo step iniziale e allo step finale.

Basandosi sul tempo totale impiegato per l'apertura della valvola e il tempo impiegato per la chiusura della valvola in condizione di emergenza da un'apertura del 50% si riscontra che il numero di passi effettuato è conforme a quanto dichiarato a datasheet, con una leggera discrepanza sui tempi misurati rispetto a quelli calcolati dovuti ad errori di arrotondamento. Tramite l'utilizzo di una resistenza di shunt viene misurata la corrente che attraversa gli avvolgimenti. Per quanto riguarda la corrente di mantenimento si riscontra che è pari a zero come richiesto da datasheet, mentre la corrente durante il movimento della valvola risulta prossimo a quello dichiarato a datasheet, ma inferiore di circa 10-12 mA. Questo può essere



dovuto alle condizioni di misura, che introducendo rumore nella misurazione hanno reso necessaria l'applicazione di un filtro passa-basso sul segnale per apprezzarne l'andamento. Inoltre è confermato il sequenziamento full step. Il datasheet della valvola consiglia l'utilizzo del microstepping, ma questo non è supportato dal driver EEV. Si può dunque concludere che i segnali elettrici di pilotaggio del driver siano conformi alle caratteristiche elettriche della valvola di espansione elettronica definite da datasheet.

## 5. Sitografia e bibliografia

Tang J., *Wiring Basics: Unipolar vs Bipolar*, [www.blog.orientalmotor.com/wiring-basics-unipolar-vs-bipolar](http://www.blog.orientalmotor.com/wiring-basics-unipolar-vs-bipolar), pubblicato il 28/08/2020.

Collins D., *What is a constant voltage drive for a stepper motor and when is it used*, [www.motioncontroltips.com/what-is-constant-voltage-drive-for-stepper-motor-and-when-is-it-used/](http://www.motioncontroltips.com/what-is-constant-voltage-drive-for-stepper-motor-and-when-is-it-used/), pubblicato il 08/11/2019.

Collins D., *Stepper drives: What's the difference between an L/R drive and a chopper drive?*, [www.motioncontroltips.com/stepper-drives-whats-the-difference-between-an-l-r-drive-and-a-chopper-drive/](http://www.motioncontroltips.com/stepper-drives-whats-the-difference-between-an-l-r-drive-and-a-chopper-drive/), pubblicato il 19/04/2019.

Pulford R. Jr., *The Many Faces of Stepper Motor Drives*, [www.designworldonline.com/the-many-faces-of-stepper-motor-drives/](http://www.designworldonline.com/the-many-faces-of-stepper-motor-drives/), pubblicato il 15/04/2010.

Fiore C., *Stepper Motors Basics: Types, Uses, and Working Principles* [www.monolithicpower.com/stepper-motors-basics-types-uses](http://www.monolithicpower.com/stepper-motors-basics-types-uses).

*Stepper motors – Introduction to stepper motors*, [www.omega.co.uk/prodinfo/stepper\\_motors.html](http://www.omega.co.uk/prodinfo/stepper_motors.html)

Murugavel R., *Current Recirculation and Decay Modes - Application Report*, Texas Instruments Incorporated, 2021.

STMicroelectronics, *Stepper-Motor performance constant-current chopper drive UPS*, STMicroelectronics, 2003.

Siemens Switzerland Ltd., *Climatix Extension Modules ECV2*, Siemens Switzerland Ltd., 2021.

Danfoss, *Colibri® Electric expansion valves*, Danfoss, 2019.