



Refrigeration



Air-Conditioning

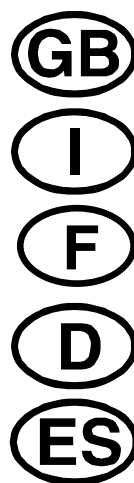
Refrigerant expansion in air-conditioning and refrigeration: why an electronic expansion valve?

L'espansione del refrigerante in condizionamento e refrigerazione: perché una valvola di espansione elettronica?

La détente du fluide frigorigène en climatisation et réfrigération: pourquoi une soupape à détente électronique?

Die Expansion des Kältemittels in Klima- und Kälteanwendungen: warum ein elektronisches Expansionsventil?

La expansión del refrigerante en acondicionamiento y refrigeración: ¿porqué una válvula de expansión electrónica?



GB 3

I 11

F 19

D 27

ES 35



Refrigerant expansion in air-conditioning and refrigeration: why an electronic expansion valve?

The traditional solution: - TEV

All refrigeration units, whether developed for the air-conditioning or refrigeration market, commonly use a traditional thermostatic expansion valve as the expansion device: this is the standard component fitted with a sensor bulb and, in more advanced models, a pressure fitting for external compensation.

This expansion device, hereinafter called the TEV (Thermostatic Expansion Valve), despite being functional and generally able to make the unit it is installed in "operational", has a number of characteristics that in many aspects limit the versatility of the installation and the performance that can be achieved.

Obviously, some categories of installation are more sensitive to the negative aspects of TEV control, due to the specifications of the installation, the operating parameters and/or the distribution of the load throughout the year.

The innovation: - EEV

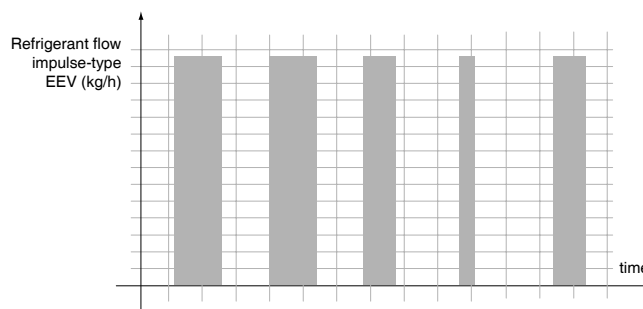
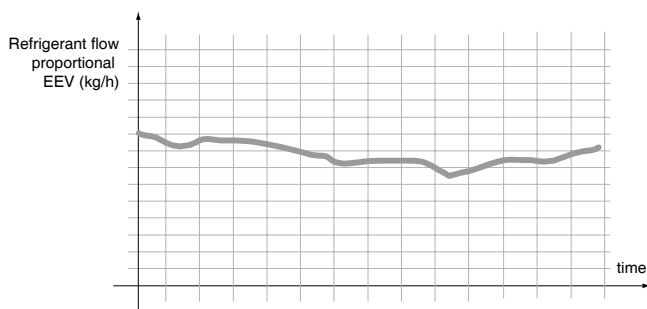
A solution to most, if not all of the shortfalls resulting from TEV control is the electronic expansion valve, hereinafter EEV¹ (Electronic Expansion Valve). This servo-controlled electro-mechanic device, which has for the last few years been widely available on the market, expands the flow of refrigerant in a variable manner, using commonly a pressure sensor and a temperature sensor (corresponding to the pressure fitting for compensation and the sensor bulb in the TEV). Both these sensors are fitted to the evaporator outlet, and the measurements are read and processed by a controller that decides the best degree of opening of the valve in real-time.

Types of EEV: - Proportional - Impulse

Various solutions exist for creating a variable flow of refrigerant, and generally all of these achieve the result by varying the surface of the passage through an orifice: some valves work by varying the stroke of a needle or other movable element (proportional valves), others completely close or open a fixed orifice for varying intervals of time (impulse or duty cycle valves).

From a strictly theoretical point of view, there is no difference between the various types of control if we consider a sufficiently long period of observation: nonetheless, the proportional type is preferable in terms of precision and control, in that modulation by impulses of refrigerant may cause problems of instability and poor efficiency².

The diagram below shows the methods and the results, in qualitative terms, of modulation using pulse modulated (PWM) and proportional EEVs.



Another remarkable difference between proportional and PWM EEVs is the propagation of pressure pulsations on the refrigerant lines, particularly in case of long piping (ex. Supermarkets application) and in presence of heat liquid-gas heat exchangers. Pressure pulsation may lead to unpredictable faults not really in the EEV itself but in the general piping system (liquid line, evaporator, distributor, heat exchanger,...).

¹ Also EXV.

² A duty cycle valve in any case creates an impulsive flow of refrigerant which only over a sufficiently long period of time generates a "variable" effect in a reasonably continuous manner.



EEV - Applications and characteristics

The topics dealt with here essentially involve all types of refrigeration unit in general, such as heat pumps and chillers for civil and industrial use, air-conditioners for shelters, for computer centres, telephone exchanges and close control units in general, cold rooms and refrigerated showcases for product displays.

What then are characteristics that make an EEV different from and better than a TEV?

1. **Compatibility with all types of refrigerant and a very wide capacity range**
2. **Precision in the modulation of the refrigerant flow**
3. **Microprocessor control**

These three characteristics may at a first glance not seem to justify the changeover from TEV to EEV control: however, when examining these more in detail, it can be seen how the electronic control of the flow of refrigerant resolves many problems that exist in the traditional types of control, and consequently brings a great number of benefits.

1. Compatibility with all types of refrigerant and a very extended control range

These characteristics drastically reduce the number of models of EEV that are used in the various units, as the fact that they are not linked to the type of fluid, together with the long stroke of the movable element in the more advanced EEVs, ensures an extremely versatile use of the control device, and specifically:

1.1 Consequent advantages

Logistics

- There is no distinction between valves for different types of refrigerant, as in the case of TEVs. Each electronic expansion valve is compatible with various types of refrigerants available on the market. In addition, some EEVs are also compatible with refrigerants that are currently less common, yet that will soon be used more widely, such as NH₃, CO₂ or hydrocarbons.
→ **Simplification in logistic terms**, due to a reduction in the number of codes, stock, orders, spare parts,...
- One EEV is able to work with a very wide range of cooling capacities³. To better understand what this means, simply look at a generic catalogue of TEVs to realise the number of different bodies, orifices and resulting combinations necessary to cover a small range of capacities.
- **Simplification in logistic terms**, due to a reduction in the number of codes, stock, orders, spare parts,.... → Refrigeration units that are normally shared in modules of two or more compressors for modulation of the cooling capacity can be significantly simplified using just one (modulating) compressor, as the EEV is able to manage an extremely variable range of capacities without any problems in terms of the quality of control.
→ In recent and currently-growing applications such as units served by compressors with continuous or stepped capacity control (screw, piston or scroll compressors), the use of a TEV often involves considerable problems of swings even after a reduction in capacity of just 25%. These swings significantly reduce the quality of the service provided by the unit in terms of the consistency of cooling capacity delivered and the working life of the unit itself.

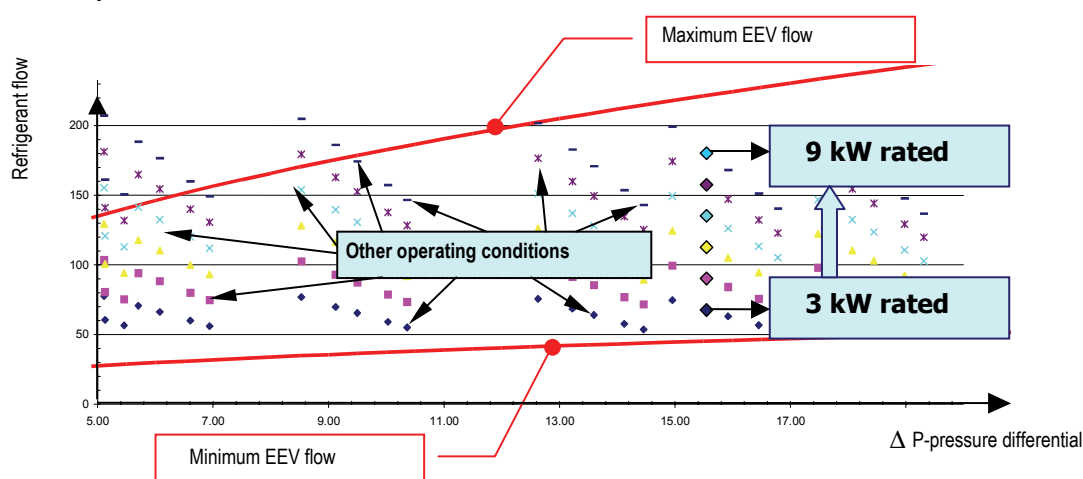
³ For example, the E²V-18 model E²V easily covers a range of compressors from 5kW to 14kW for air-conditioning with R22 (Te=7°C and Tc=54°C), from 4kW to 13kW for refrigeration with R22 (Te=-23°C and Tc=38°C) and from 2kW to 7kW with R404a (Te=-23°C and Tc=38°C).



Control range

- One EEV is able to serve the above range of compressors not only in the rated or design conditions, but also in an extremely extended range of operating conditions.
The sizing of a TEV, on the other hand, is linked very closely to the unit being used and rated design conditions.
When the elements making up the unit are suitably sized (heat exchangers etc.) the operating conditions of the unit in fact have no limits and the valve is not affected by over/under-rating.

The graph below, created using a valve from the CAREL E²V family as an example, illustrates the characteristics and the benefits described above. The x-axis represents the operating ΔP of the expansion valve⁴. The y-axis represents the flow of refrigerant (R22) in kg/h: this indicates both the minimum and maximum flow-rates of the valve (red lines) and the capacity delivered by the compressors (different coloured dots).



The graph shows the capacities of various compressors (from 3 to 9kW in rated conditions for air-conditioning⁵): the larger dots represent the rated conditions.

From the diagram it is apparent that the valve in question (CAREL E²V-14) is able to manage the compressors examined in virtually all operating conditions.

These observations can obviously also be extended to other EEVs, as long as the control range is effectively as extended as that of the CAREL E²V.

→ **No problems for different climates, operating temperatures, variation in the set point, ...**

→ Specific applications, such as those in the food industry, require the use of refrigeration units in operating conditions that differ significantly, often in terms of different evaporation temperature conditions. Control by TEV requires the doubling of the expansion portion of the refrigerant circuit, while EEV potions adjustment drastically reduces the complexity and the cost of the installation, allowing operation without difficulty over the entire field of operation envisaged.

⁴ In practice, the value of the condensing pressure minus the evaporator pressure, expressed in bars.

⁵ The observations made are in any case also valid for refrigeration applications.



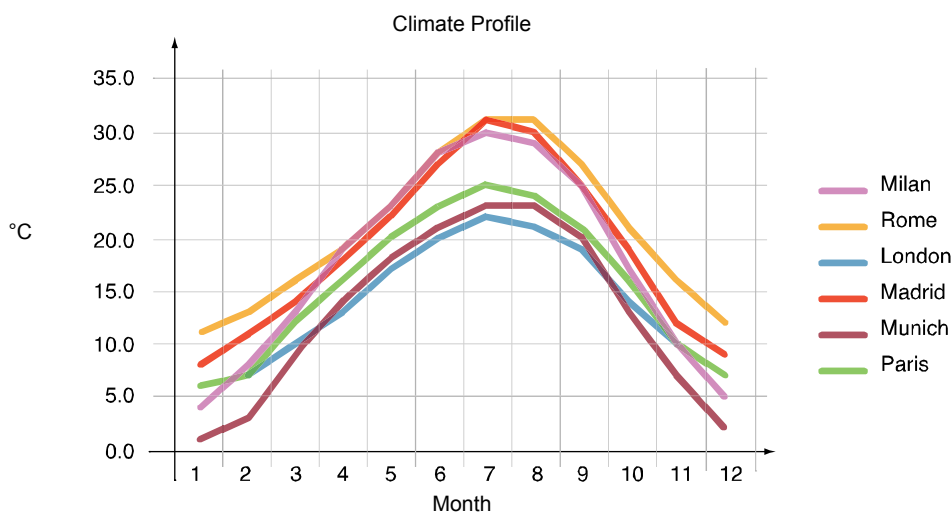
Energy Saving

- A sub-case of the previous point that deserves special mention is the operation of the units at significantly low condensing pressures: in fact, the only limits with an EEV are the minimum $\square P$ compatible with the compressor used and the outside temperature. As shown above, a TEV can normally work in a very restricted field around the rated values, and in this case it is not possible to exploit low outside temperatures to increase the efficiency of the refrigeration unit.

→ With the EEV, **considerable energy savings** can be achieved to increase average annual capacity delivered by the compressor (even by 25%⁶). In fact, an increase of around 2% in efficiency can be expected for each °C decrease in condensing temperature. This is because the compressors controlled in ON/OFF mode have reduced ON times, while those with capacity control or inverter control operate at a lower rate for the same capacity.

Specific mention should be made of the use of EEV technology in **technological refrigeration units (for cooling dies, close controls,...)** and in **supermarkets** or in any case **large refrigerated volumes** for the storage of foodstuffs: in these categories the energy savings obtainable are quite considerable and certainly interesting for the end user, as well as for the manufacturer or OEM, who can propose a highly innovative solution.

As an example, the climate profile of various European cities is shown below: the periods that allow especially low condensing temperatures are quite extended even in cities traditionally considered as temperate; this confirms that the savings obtainable with EEV control technology are in any case often quite significant.



⁶ A saving of 25% is a likely estimate for air-conditioning and refrigeration units in operation all year round in temperate climates. For seasonal operation (e.g. chillers for civil use) the savings are lower but in any case certainly interesting.

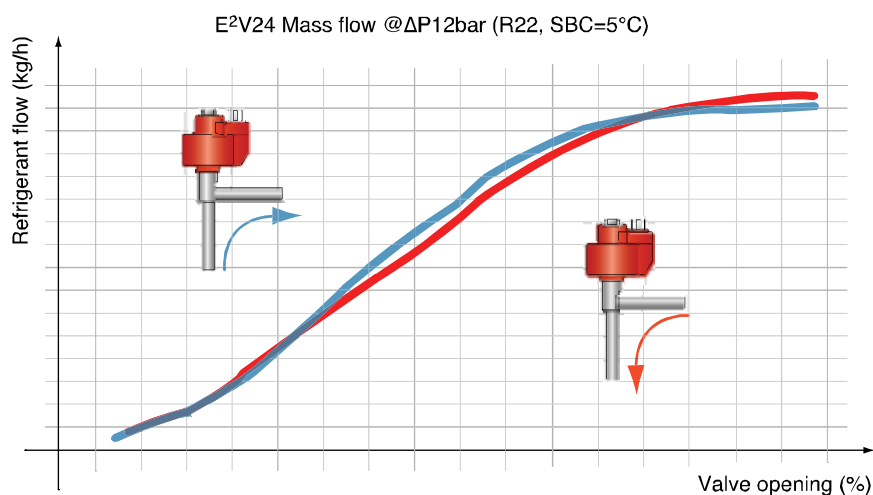


2. Precision in the modulation of the refrigerant flow

The mechanical characteristic of the EEV that allows a wide control range (in the best proportional models) is the long stroke of the control nozzle, which may reach the tens of millimetres and more: the control is thus much more precise even than the better traditional TEVs.

The control of the refrigerant flow obviously benefits from this significant resolution and precision: in all refrigeration systems, both in the air-conditioning and refrigeration markets, the attainment of more stable superheat control⁷, and, when useful, at a lower value than in the case of a TEV, is undoubtedly an advantage.

Special mention should be made of bi-directional valves, which can provide a linear flow of refrigerant in reference to the opening of the valve in both directions of operation: the diagram below shows experimental data from flow tests performed on a CAREL E²V-24 EEV.



The almost perfect linearity of the flow is evident at both high and low degrees of opening.

Analysing in detail the possibility offered by precise modulation of the refrigerant for superheat control, the more important aspects are described below.

2.1 Consequent advantages

Stable superheat (SH)

- The superheat control attainable with an EEV is in most cases more stable and more precise than with a TEV: the set point is maintained as the operating conditions, season and the operating mode of the refrigeration unit change.

→ Constant cooling capacity of the unit with rapid stabilisation after start-up. No need to re-set the set point as the working conditions change.

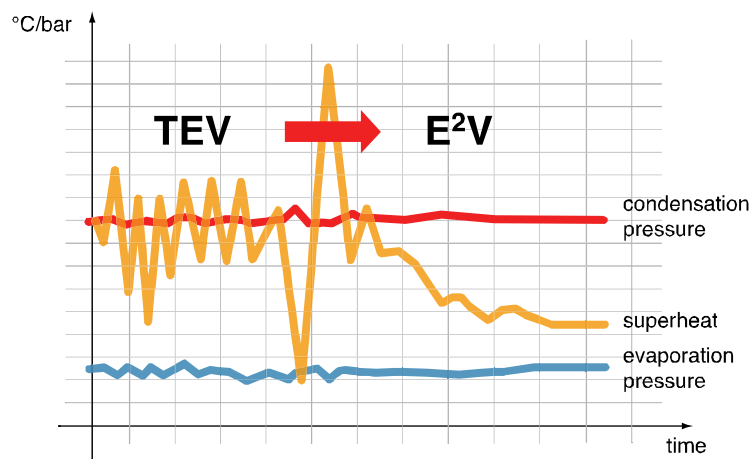
⁷ Superheat is the difference between the thermometric and the manometric temperature at the evaporator outlet.



Low superheat (SH)

- As well as stability, the superheat value can also be lowered by decreasing the set point to the desired value: this feature of EEV control does not involve the risk of swings (or hunting) that are typical of a TEV.

The graph below shows the effect of "hot" switching between the operation of a chiller with a TEV to an EEV: The lowering of the average superheat value and the stability of the value itself and the operating pressure are clearly evident.

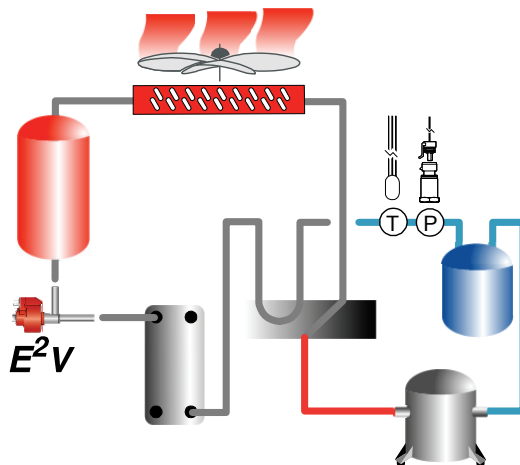


→ The lowering of the superheat set point often means an increase in the capacity delivered by the unit due to the consequent increase in the evaporator pressure and the better use of the exchange surface of the evaporator⁸.

Bi-directional

- If a bi-directional EEV is used (such as the CAREL E²V) in a reverse-cycle heat pump, only one EEV needs to be installed instead of the two TEVs in the traditional solution.

→ The case of reverse-cycle heat pumps is an ideal application for the EEV, in that, as well as the other advantages that are common to all applications and the corresponding economic and technical benefits, there is a reduction in installation costs due to the use of just one valve and the simplification of the refrigerant circuit.



⁸ The value of this increase is not significant when the set point is less than 5°C and therefore it is preferable, except in special cases, to operate with set points above 4°C, furthermore ensuring more stable control.



3. Microprocessor control

The fact that an electronic expansion valve is controlled by a microprocessor that acts as both the generator of the sequences for the operating steps and as the intelligence device that decides the current refrigerant demand at the evaporator, may seem an obvious and redundant statement, as the valve in question is, indeed, electronic.

In reality, the possibilities offered by the fact that the EEV is positioned exclusively at the point decided by the controller go beyond simple superheat control as offered by traditional TEV technology: in this way, the above statement should in fact read "... as the intelligence device that decides the current and useful refrigerant demand ...".

This means that the use of the superheat value alone as the control signal is not always necessarily the best solution: control routines, such as MOP (Maximum Operating Pressure) and LOP (Lowest Operating Pressure), are the first that come to mind, while many others are possible with microprocessor control. In any case, these too can be significantly improved using an EEV compared to a TEV. In addition, the possibility of forcing the EEV to the desired position allows the possibility of many different uses of the technology described here, customised as desired according to the specific technical requirements: two set points, special start or stop procedures, specific situations such as flooded evaporators, etc.

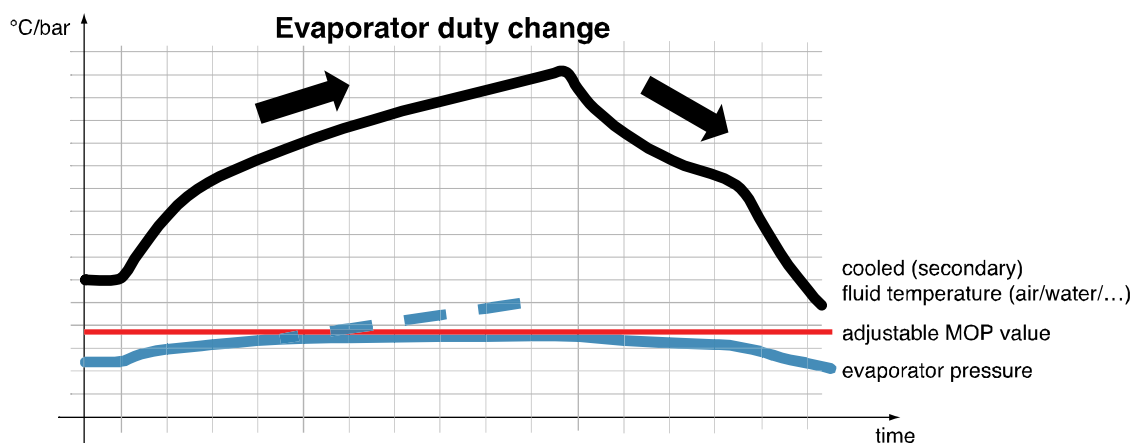
Indeed, there are no limits to the possible evolutions of the control SW.

The following are the characteristics relating to the control software implemented in the latest generation CAREL controllers available for the refrigeration and air-conditioning markets, in advanced system (pLAN and local networks), stand-alone and built-in versions.

3.1 EEV advantages

MOP(Maximum Operating Pressure)

- The MOP function limits the maximum evaporator pressure, the value of which is available from the pressure probe and read directly by the EV Driver for calculating the superheat value. The control routine can be configured in terms of the threshold and gain, and maintains the pressure below or equal to the value set for the corresponding parameter in a precise and stable manner, as can be seen in the following diagram.



The typical action of this control routine is the progressive closing of the expansion valve, so as to limit the evaporator pressure: this intrinsically involves an increase in the superheat value and the temperature of the gas at the evaporator outlet (the temperature of the superheated gas or the suction temperature).

Uncontrolled action may lead to dangerous values for the safeguarding of the compressor, and for this reason the procedure must feature a limit for the maximum value of the superheated gas: this function has been implemented in the CAREL control algorithms, meaning unprecedented functionality and safety.

→ Starts at high evaporator loads, in total safety for the compressor: dangerously high evaporator pressure values are avoided.

→ "Soft" and precise control of the evaporator pressure, without steps or discontinuity.



LOP (Lowest Operating Pressure)

- Similarly to the MOP function, the LOP maintains the evaporator pressure above a settable threshold with a settable gain: if a transient of the normal operating conditions or an excessive superheat set point or any other phenomenon leads to excessively low pressure values, this routine progressively opens and finely controls the expansion valve.

Nonetheless, the routine should not be considered as a "control" in the strictest sense: it is essentially a procedure that manages the transient states.

In addition, as the action works in the direction of opening, in the event where there are no limits, excessive degrees of opening may be reached, thus endangering the safety of the compressor due to the possible return of fluid: the LOP routine therefore features an intrinsic safety mechanism that prevents the opening of the valve in the event of too low superheat values.

HiTcond

- The special HiTcond function, patented by CAREL, compensates for temporary increases in the condensing pressure/temperature by limiting the capacity of the compressor via the EEV.

In practice, this involves the controlled closing of the expansion valve to reduce the flow of refrigerant: this leads to a reduction in the cooling capacity at the evaporator, in the heat to be given up by the condenser and consequently a reduction in the condensing temperature.

→ In technological air-conditioning applications (for example, shelters) the units often work in pairs to prevent the absence of service if one of the two units is shut down: in the event of high outside temperatures, both the units may shut down due to the activation the high pressure switch. The HiTcond routine can be used to prevent this problem, thus ensuring continuous service.

→ The above is also valid for other applications, especially those that have no other way of reducing the cooling capacity, such as capacity-control for screw compressors, inverters and other systems.

Low noise

- One special feature of the electronic expansion valve involves the possibility of intentionally under-supplying the evaporating circuit and as a consequence the compressor.

This leads, as in the case of the HiTcond routine, to a reduction in the thermal load to be given up by the condenser, which can consequently operate with its fans at low speed and thus reduced noise: this consideration, related to the fact that night-time outside temperatures are often lower than those during the day, leads to the extended applicability of this function in cases where there are problems of noise in the vicinity of the unit.

In fact, in most cases a low outside temperature leads to a reduction in the cooling requirement (for example, due to the absence of radiance) and thus a reduction in the cooling capacity does not, as seen above, create problems of poor service.

Obviously, operating in this way does not lead to reduced energy consumption: EEV technology allows the operating conditions of the refrigeration units to be controlled as desired, and users who choose Low Noise operation at night are probably more sensitive to the noise factor than to the high efficiency attainable in the same conditions.

→ All refrigeration units can use this function, while applications such as air-conditioning units for telephone exchanges, GSM or UMTS radio links, etc. especially benefit from this possibility, due to their usual proximity to inhabited areas.



L'espansione del refrigerante in condizionamento e refrigerazione: perché una valvola di espansione elettronica?

La tradizione: - TEV

Tutte le unità frigorifere, sia che siano sviluppate per il mercato del condizionamento o della refrigerazione, hanno utilizzato diffusamente come dispositivo di espansione la valvola di espansione termostatica di tipo tradizionale: ci si riferisce, quindi, al componente standard dotato di bulbo sensore e, nei modelli più evoluti, di una presa di pressione per la compensazione esterna.

Questo organo di laminazione, in seguito TEV (Thermostatic Expansion Valve), pur essendo ovviamente funzionale e generalmente in grado di "rendere operative" le unità nelle quali è installato, presenta alcune caratteristiche che limitano in molti aspetti la versatilità dell'impianto e le performance ottenibili.

Ovviamente alcune categorie di impianto sono più sensibili agli aspetti sfavorevoli della regolazione tramite TEV, sia per specifiche di impianto, parametri operativi e/o distribuzione del carico di lavoro nelle stagioni annuali.

L'innovazione: - EEV

Una soluzione alla maggior parte, se non alla totalità, di queste lacune della regolazione con TEV è la valvola di espansione elettronica, in seguito EEV⁹ (Electronic Expansion Valve). Questo dispositivo elettronico servozionato, ormai da qualche anno disponibile in modo diffuso nel mercato, lamina il flusso di refrigerante in modo variabile utilizzando come organi sensori (che per la TEV sono la presa di pressione per la compensazione e il bulbo sensore) un sensore di pressione ed uno di temperatura. Entrambi i sensori sono applicati all'uscita dell'evaporatore, letti ed elaborati da un controllore che decide in real-time l'apertura ottimale della valvola.

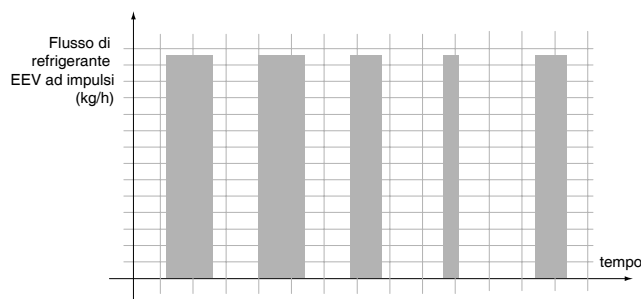
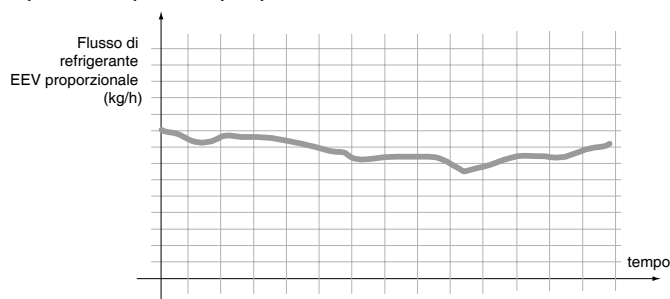
Tipi di EEV: - Proporzionale

- Impulsi

Esistono varie soluzioni per ottenere un flusso variabile di refrigerante e tutte generalmente ottengono il risultato variando la superficie di passaggio attraverso un orificio: alcune valvole lavorano variando la corsa di un otturatore a spillo o di forma diversa (valvole *proporzionali*), altre chiudono ed aprono completamente l'orificio in intervalli variabili di tempo (valvole ad *impulsi* o a *duty cycle*).

Da un punto di vista strettamente teorico non c'è differenza nell'uno o nell'altro tipo di regolazione se si considera un periodo di tempo di osservazione sufficientemente lungo: tuttavia una regolazione di tipo proporzionale è preferibile in termini di precisione e regolazione, in quanto una modulazione ad impulsi di refrigerante può causare problemi di instabilità e scarsa efficienza¹⁰.

Nel diagramma a seguire è indicato in termini qualitativi il metodo ed il risultato della modulazione per EEV di tipo ad impulsi e proporzionale.



Un'altra notevole differenza tra valvole di tipo proporzionale e PWM è la non propagazione di pulsazioni di pressione sulle linee del refrigerante, particolarmente fastidiose soprattutto in caso di linee molto lunghe (es. supermercati) e presenza di scambiatori di calore liquido-gas. Le pulsazioni di pressione possono portare a malfunzionamenti non tanto nelle EEV stessa quanto nel sistema di connessioni nel suo complesso (linea del liquido, distributore, evaporatore, scambiatore di calore,...).

⁹ Anche EXV.

¹⁰ Una valvola a duty cycle determina comunque un flusso impulsivo di refrigerante che solo se integrato in un tempo sufficientemente lungo genera un effetto "variabile" in modo all'incirca continuo.



EEV - Applicazioni e caratteristiche

Gli argomenti che verranno trattati riguardano essenzialmente tutte le unità frigorifere in genere, come le pompe di calore ed i refrigeratori per uso civile ed industriale, i condizionatori per shelter, per centri di calcolo, telefonia e più in generale le close control units, le celle frigorifere ed i banchi refrigerati per esposizione.

Ma quali sono quindi le caratteristiche che rendono una EEV diversa e sempre migliore di una TEV?

Compatibilità con ogni refrigerante e range di regolazione molto esteso

Precisione di modulazione del refrigerante

Regolazione a microprocessore

Queste tre caratteristiche potrebbero sembrare a una prima impressione poco rilevanti per giustificare il passaggio da una regolazione TEV ad una EEV, ma solo se valutate in modo insufficientemente approfondito: scendendo nel dettaglio, si nota che mediante una regolazione elettronica del flusso di refrigerante vengono risolti molti inconvenienti della regolazione tradizionale e che vengono conseguiti altrettanti benefici.

1. Compatibilità con ogni refrigerante e range di regolazione molto esteso

Queste caratteristiche limitano drasticamente il numero di modelli di EEV da utilizzare nelle varie unità, considerando che l'essere svincolate dal tipo di fluido e la lunga corsa dell'otturatore nei modelli di EEV più avanzati consente un utilizzo estremamente versatile di quest'organo di regolazione, in particolare:

1.1 Vantaggi conseguenti

Logistica

- Non esiste distinzione di valvole per tipo di refrigerante come per le TEV. Ogni valvola di espansione elettronica è compatibile con svariati refrigeranti in commercio. Inoltre, alcune EEV sono compatibili anche con refrigeranti meno comuni oggi, ma di prossima diffusione, come NH₃, CO₂ o idrocarburi.

→ **Semplificazione logistica** per riduzione codici, magazzino, ordini, ricambi,...

- Una EEV è in grado di asservire un range molto elevato di potenze frigorifere¹¹. Per meglio comprendere cosa questo significhi, basta considerare un generico catalogo di TEV per rendersi conto del numero di corpi, di orifici e delle relative combinazioni necessarie a coprire un'esigua gamma di potenze.
- Semplificazione logistica** per riduzione codici, magazzino, ordini, ricambi,... → Unità frigorifere che vengono normalmente divise in moduli di due o più compressori per consentire una modulazione della capacità frigorifera possono essere notevolmente semplificate utilizzando un solo compressore (modulante), essendo la EEV in grado di gestire una potenza estremamente variabile senza alcun inconveniente nella qualità della regolazione.

→ In applicazioni di recente e attuale espansione come le unità asservite da compressori parzializzabili in modo continuo o compressori a gradini (siano essi a vite, a pistoncini o di tipo scroll), l'utilizzo di una TEV presenta spesso notevoli problemi di pendolazioni anche dopo la riduzione della potenza di solo il 25%. Queste pendolazioni riducono notevolmente la qualità del servizio dall'unità stessa in termini di costanza della resa frigorifera e di salvaguardia della vita dell'unità stessa.

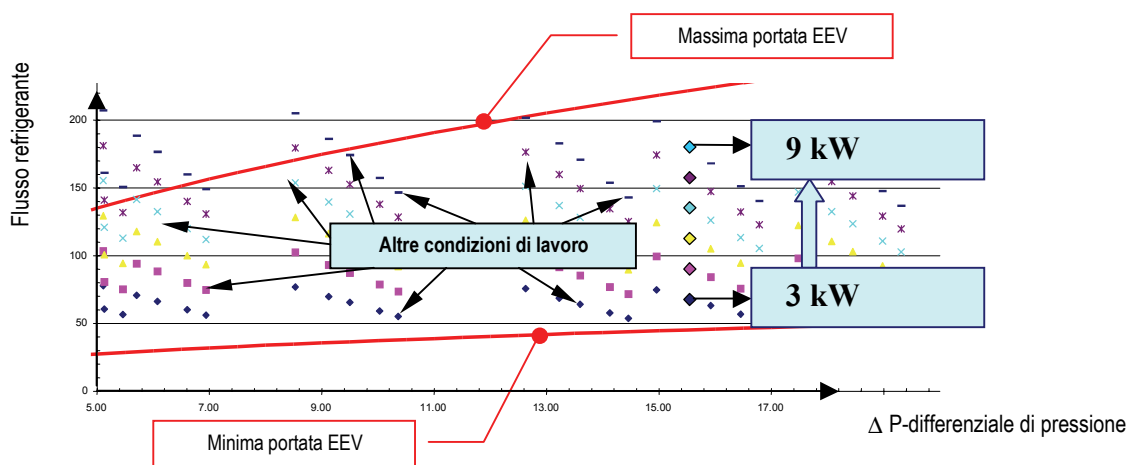
¹¹ Ad esempio la E²V modello E²V-18 copre egregiamente compressori di taglia da 5kW a 14kW in condizionamento con R22 (Te=7°C e Tc=54°C), da 4kW a 13kW in refrigerazione con R22 (Te=-23°C e Tc=38°C) e da 2kW a 7kW con R404a (Te=-23°C e Tc=38°C).



Range di regolazione

- Una EEV è in grado di asservire il range di compressori di cui sopra non solo nelle relative condizioni nominali o di progetto, ma in un campo estremamente esteso di condizioni operative. Il dimensionamento di una TEV invece è legato in modo molto stretto all'unità da servire e dalle condizioni di progetto nominale della stessa. Quando gli elementi dell'unità sono dimensionati adeguatamente (scambiatori di calore ecc.) le condizioni di lavoro dell'unità stessa sono di fatto senza limiti e la valvola non soffre di sovra/sotto-dimensionamento.

Il grafico sottostante, ricavato utilizzando una valvola della famiglia CAREL E²V come esempio, illustra le caratteristiche ed i benefici sopra descritti. Sulle ascisse è indicato il ΔP di lavoro della valvola di espansione¹². Sulle ordinate è indicato il flusso di refrigerante (R22) in kg/h: questo valore indica sia le portate minime e massime della valvola (linee rosse) che la resa dei compressori (punti di diverso colore).



Sul grafico sono state tracciate le rese di vari compressori (da 3 a 9kW in condizioni nominali per il condizionamento¹³); i punti di dimensione maggiore rappresentano le condizioni nominali.

Dal diagramma si nota evidentemente che la valvola esaminata (CAREL E²V-14) è in grado di gestire i compressori esaminati virtualmente in ogni condizione operativa.

Le considerazioni fatte ovviamente sono estendibili anche ad altre EEV a condizione che il range di regolazione sia effettivamente così esteso come quello possibile con una CAREL E²V.

→ **Nessun inconveniente per zone climatiche, temperature di esercizio, variazione set point di lavoro, ...**

→ Applicazioni particolari, come quelle nell'industria alimentare, esigono l'utilizzo di unità frigorifere in situazioni operative notevolmente differenti tra di loro, spesso per diverse condizioni della temperatura di evaporazione. Una regolazione tramite TEV comporta necessariamente la duplicazione del circuito frigorifero mentre la tecnologia EEV riduce drasticamente la complessità ed il costo dell'impianto potendo lavorare egregiamente in tutto il campo di lavoro previsto.

¹² In pratica il valore della pressione di condensazione meno quello della pressione di evaporazione espresse in bar.

¹³ Le considerazioni fatte valgono comunque per applicazioni in refrigerazione.



Risparmio energetico

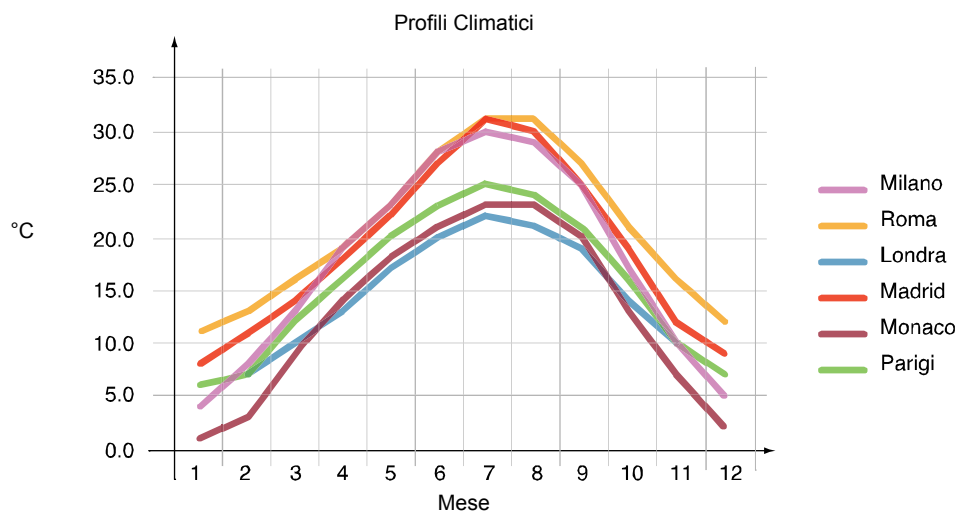
- Un sottocaso del punto precedente che merita una nota particolare è l'esercizio dell'unità a pressioni di condensazioni notevolmente basse: di fatto gli unici limiti con una EEV sono il ΔP minimo compatibile con il compressore utilizzato e la temperatura esterna.

Come riportato sopra, una TEV normalmente può lavorare in un intorno molto ristretto dei suoi valori nominali e con essa non è possibile sfruttare le basse temperature esterne per aumentare l'efficienza dell'unità frigorifera.

→ Con la EEV è possibile ottenere **notevoli risparmi energetici** per l'aumento di resa media annuale del compressore (anche del 25%¹⁴). È infatti prevedibile un aumento di efficienza nell'ordine del 2% per ogni °C di temperatura di condensazione in meno. Questo perché il compressore pilotato ad ON/OFF riduce il tempo di ON, mentre quello parzializzato o in regolazione ad inverter assume un regime di funzionamento minore a parità di resa.

Meritano una rilevo particolare gli utilizzi della tecnologia EEV in **unità frigorifere di tipo tecnologico (raffreddamento stampi, close controls,...)** e in **supermercati** o comunque **grandi volumi refrigerati** di stoccaggio di derrate alimentari: per queste categorie i risparmi energetici ottenibili sono veramente notevoli e di sicuro interesse per l'utente finale, ma anche per il costruttore o OEM in grado di proporre una soluzione altamente innovativa.

A titolo di esempio si riporta il profilo climatico di varie città europee: i periodi che consentono temperature di condensazione particolarmente basse sono abbastanza estesi anche in città tradizionalmente considerate come temperate, questo a conferma che il risparmio ottenibile con la tecnologia di regolazione ad EEV è comunque spesso rilevante.



¹⁴ Un risparmio del 25% è una stima verosimile per unità di condizionamento e refrigerazione in funzione tutto l'anno in regimi climatici temperati. Per unità in funzionamento stagionale (per es. chiller per uso civile) il risparmio è inferiore ma comunque sicuramente interessante.

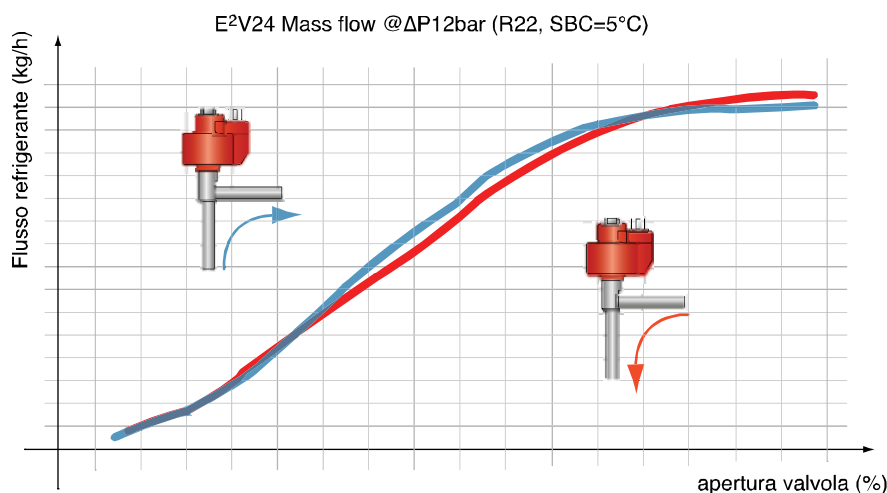


2. Precisione di modulazione del refrigerante

La caratteristica meccanica della EEV di consentire un'ampia gamma di regolazione (nei modelli migliori di tipo proporzionale), è dovuta alla lunga corsa dell'ugello di regolazione che può arrivare alla decina di millimetri ed oltre: si parla quindi di una regolazione molto più precisa anche della migliore delle tradizionali TEV.

La regolazione del flusso di refrigerante non può che trarre beneficio da questa notevole risoluzione e precisione: in tutti gli impianti frigoriferi, sia nel mercato del condizionamento che in quello della refrigerazione, l'ottenimento di una regolazione del surriscaldamento¹⁵ più stabile e, quando opportuno, ad un valore più basso rispetto all'utilizzo di una TEV, è senz'ombra di dubbio un vantaggio.

Un merito a parte spetta alle valvole di tipo bidirezionale, in grado di fornire in entrambi i versi di funzionamento un portata di refrigerante con caratteristica lineare rispetto all'apertura: di seguito si riporta il diagramma sperimentale ricavato da una prova di portata di una EEV CAREL di tipo E²V-24.



Risulta evidente la quasi perfetta linearità della portata con l'apertura sia ad alti che bassi valori della stessa.

Analizzando nel dettaglio le possibilità offerte da una precisa modulazione del refrigerante per la regolazione del surriscaldamento, si riportano gli aspetti più salienti di seguito.

2.1 Vantaggi conseguenti

Surriscaldamento stabile (SH)

- La regolazione del surriscaldamento ottenibile con una EEV è nella maggior parte dei casi più stabile e controllata che non con una TEV: il set-point viene mantenuto al variare delle condizioni di lavoro, della stagione e del regime dell'unità frigorifera.

→ Resa frigorifera dell'unità costante e con rapida stabilizzazione dopo l'avvio. Nessuna necessità di ritardare il set-point di lavoro al variare delle condizioni al contorno.

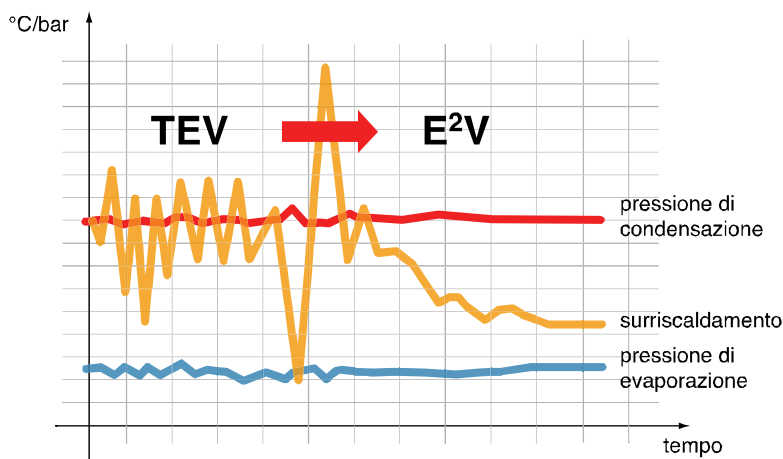
¹⁵ Surriscaldamento è la differenza tra la temperatura termometrica e quella manometrica in uscita dall'evaporatore.



Surriscaldamento basso (SH)

- Oltre alla stabilità, è possibile contare su una riduzione del surriscaldamento riducendone il set-point al valore desiderato: questa possibilità della regolazione con EEV non porta con sé il pericolo di pendolazioni (o *hunting*) tipico di una TEV.

Nel grafico sotto riportato si nota l'effetto di uno switch "a caldo" tra il funzionamento di un'unità chiller con TEV a EEV: l'abbassamento del valore medio del surriscaldamento e la stabilità dello stesso e delle pressioni di lavoro sono palesi.

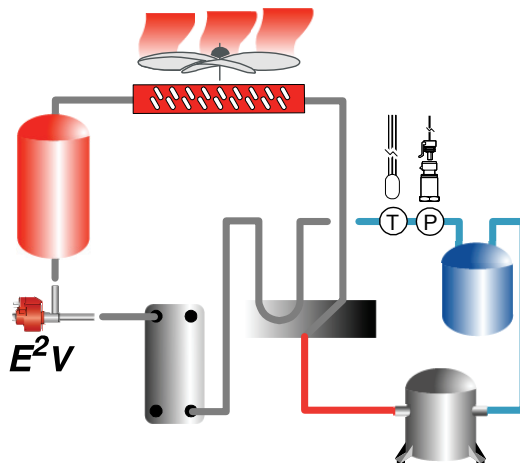


→ La riduzione del set-point del surriscaldamento ha spesso come conseguenza l'aumento della resa frigorifera dell'unità per il conseguente aumento della pressione di evaporazione e per il migliore sfruttamento della superficie di scambio dell'evaporatore ¹⁶.

Bidirezionali

- Nel caso si utilizzi una EEV bidirezionale (come la E2V CAREL) in una pompa di calore reversibile è possibile installare una sola valvola di espansione EEV al posto delle due TEV nella soluzione tradizionale.

→ Il caso della pompa di calore reversibile è particolarmente indicato per l'utilizzo di una EEV, in quanto, oltre ai vantaggi comuni a tutte le applicazioni ed ai relativi benefici economici e tecnici, è possibile una riduzione dei costi di impianto sia per l'assenza di una seconda valvola che per la semplificazione del circuito del refrigerante.



¹⁶ Il valore di questo aumento è percentualmente non rilevante quando in set-point è inferiore a 5°C ed è quindi preferibile, salvo casi particolari, impostare un set-point superiore ai 4°C privilegiando una regolazione comunque più stabile.



3. Regolazione a microprocessore

Il fatto che una valvola di espansione elettronica sia pilotata da un microprocessore che funge sia da generatore della sequenza dei passi (o *step*) da eseguire che da intelligenza che decide il fabbisogno attuale di refrigerante all'evaporatore, potrebbe sembrare una considerazione ovvia ed intrinseca al fatto che la valvola in questione è, appunto, elettronica.

In realtà, le possibilità offerte dal fatto che la EEV si posiziona solo ed esclusivamente dove viene deciso dal controllo vanno ben al di là della semplice regolazione del surriscaldamento come offerto dalla tecnologia tradizionale a TEV: in questi termini la frase sopra andrebbe corretta con "... intelligenza che decide il fabbisogno **attuale e opportuno** di refrigerante ...".

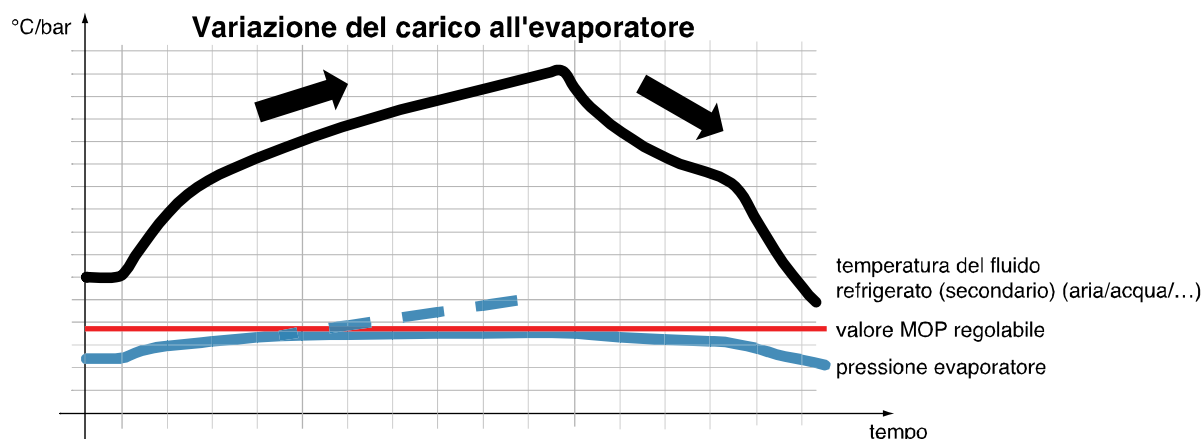
Questo a significare che non è detto che limitarsi all'utilizzo del solo valore del surriscaldamento come segnale di regolazione sia la scelta migliore: routine di controllo, quali MOP (Maximum Operating Pressure) e LOP (Lowest Operating Pressure), sono le prime cui si potrebbe pensare, ma altre ancora sono possibili con un controllo a microprocessore. In ogni caso anche le stesse sono notevolmente migliorabili con una EEV rispetto a quelle ottenibili con una TEV. Inoltre, la possibilità di imporre alla EEV una posizione desiderata lascia aperta la possibilità a molteplici utilizzi della tecnologia qui descritta, customizzati a piacere a seconda delle esigenze tecniche del caso: doppio set-point, particolari procedure di avvio o di arresto, situazioni specifiche come evaporatori allagati, ecc. Di fatto non esiste limite alle possibili evoluzioni del SW di regolazione.

Si riportano di seguito le caratteristiche relative al software di regolazione implementato nei controlli CAREL di ultima generazione, disponibili per il mercato della refrigerazione e del condizionamento in versione sistemica avanzata (pLAN e reti locale), stand-alone e built-in.

3.1 Vantaggi conseguenti

MOP (Maximum Operating Pressure)

- La funzione di MOP limita verso l'alto la pressione di evaporazione, il cui valore è disponibile tramite la sonda di pressione letta direttamente dall'EV Driver per il calcolo del surriscaldamento. La routine di regolazione è configurabile in termini di soglia e di guadagno o energia di intervento e mantiene la pressione al di sotto o pari al valore impostato nell'apposito parametro in modo preciso e stabile, come si nota nel diagramma seguente.



L'azione tipica di questo controllo si manifesta con una chiusura progressiva della valvola di espansione, in modo da contenere la pressione di evaporazione: questo comporta in maniera intrinseca un aumento del surriscaldamento e della temperatura del gas in uscita dell'evaporatore (o temperatura del gas surriscaldato o in aspirazione).

Un'azione incontrollata potrebbe portare a valori pericolosi per la salvaguardia del compressore e per questo motivo il controllo andrebbe dotato di un limite al valore massimo raggiungibile dal gas surriscaldato: questa funzione è stata implementata negli algoritmi di regolazione CAREL per una funzionalità ed una sicurezza senza precedenti.

→ Partenze a carico elevato all'evaporazione in totale sicurezza per il compressore: vengono evitate pericolosi valori elevati nella pressione di evaporazione.

→ Regolazione "morbida" e precisa della pressione di evaporazione, senza gradini o discontinuità.



LOP (Lowest Operating Pressure)

- Analogamente alla funzione di MOP, il LOP mantiene la pressione di evaporazione al di sopra di una soglia impostabile con un guadagno impostabile: se un transitorio delle condizioni operative o un set-point del surriscaldamento eccessivo o qualunque altro fenomeno portassero la pressione a valori ritenuti eccessivamente bassi, la routine agisce aprendo in modo progressivo e finemente controllato la valvola di espansione.

Tuttavia questo controllo non è da intendersi come "di regolazione" in senso stretto: si tratta essenzialmente di una gestione di stati di transitorio.

Inoltre, essendo appunto l'azione in direzione di apertura esisterebbe in caso di assenza di limitazione la possibilità di raggiungere aperture eccessive e pregiudicare in tal modo con ritorni di liquido la sicurezza del compressore: la routine di LOP è stata quindi dotata di una sicurezza intrinseca che previene l'apertura in caso di valori troppo bassi del surriscaldamento.

HiTcond

- La speciale funzione di HiTcond, brevettata da CAREL, consente di supplire a temporanei aumenti della pressione/temperatura di condensazione tramite la limitazione della potenzialità del compressore a mezzo EEV.

In pratica, quello che viene realizzata è una chiusura controllata della valvola di espansione per ottenere una riduzione del flusso di refrigerante: questo porta ad una riduzione della resa frigorifera all'evaporatore, del calore da smaltire al condensatore ed una conseguente riduzione della temperatura di condensazione.

→ Le unità di condizionamento tecnologico (ad esempio di tipo shelter) sono spesso doppie per evitare l'assenza di servizio in caso di blocco di una delle due: in caso di elevate temperature esterne è possibile che entrambe le unità siano destinate ad entrare in protezione per intervento del pressostato di alta pressione. Con l'utilizzo della routine di HiTcond è possibile evitare questo inconveniente, assicurando un servizio continuativo.

→ Quanto detto sopra vale inoltre anche per altre applicazioni, particolarmente quelle che non hanno altro modo per ridurre la potenza frigorifera, come con la parzializzazione per compressori a vite, inverter ed altro ancora.

Low noise

- Una particolare modalità di funzionamento delle valvole di espansione elettroniche consiste nella possibilità di funzionare sottoalimentando in modo voluto il circuito evaporante e di conseguenza il compressore.

Questo porta, come visto nel funzionamento della routine HiTcond, ad un ridotto carico termico da smaltire al condensatore che può di conseguenza funzionare con i relativi ventilatori a bassa velocità e quindi ridotta rumorosità: questa considerazione, associata al fatto che le temperature esterne notturne sono spesso inferiori a quelle diurne, porta ad una estesa applicabilità di questa funzione nei casi in cui sussistano problemi di rumorosità nei pressi dell'unità.

Infatti, nella maggior parte dei casi una bassa temperatura esterna porta ad un ridotto fabbisogno frigorifero (ad esempio per assenza di irraggiamento) e quindi una riduzione della potenza frigorifera come sopra riportato non crea problemi di disservizio.

Ovviamente quando si opera in questa modalità non è associato un ridotto consumo energetico: la tecnologia ad EEV consente di "pilotare" a piacere il regime di funzionamento delle unità frigorifere e l'utente che propende per un funzionamento Low Noise in regime notturno è probabilmente più sensibile al rumore che non all'alta efficienza ottenibile nelle stesse condizioni.

→ Tutte le unità frigorifere possono utilizzare questa funzione ma applicazioni come unità di condizionamento per centrali telefoniche, ponti radio GSM o UMTS, ecc. sono particolarmente favorite da questa possibilità per l'usuale vicinanza a centri abitati.



La détente du fluide frigorigène en climatisation et réfrigération: pourquoi une soupape à détente électronique?

La tradition : - TEV

Toutes les unités frigorifiques, qu'elles aient été développées pour le marché de la climatisation ou pour celui de la réfrigération, ont amplement utilisé comme dispositif de détente la soupape à détente thermostatique traditionnelle: nous faisons donc référence au composant standard doté de bulbe détecteur et dans les modèles les plus avancés, d'une prise de pression pour la compensation extérieure.

Cet organe de laminage, ci-après dénommé TEV (Thermostatic Expansion Valve), tout en étant naturellement fonctionnel et généralement en mesure de "rendre opérationnelles" les unités dans lesquelles il est installé, présente quelques caractéristiques qui limitent, sous de nombreux aspects, la flexibilité de l'installation et les performances pouvant être obtenues.

Bien entendu, certaines catégories d'installations sont plus sensibles aux aspects défavorables de la régulation par TEV, tant pour les spécifications d'installation, que pour les paramètres opérationnels et/ou pour la distribution de la charge de travail pendant les saisons annuelles.

L'innovation : - EEV

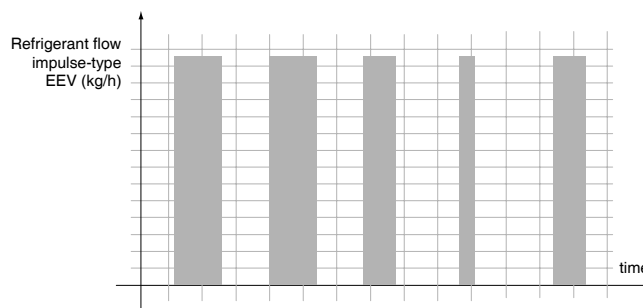
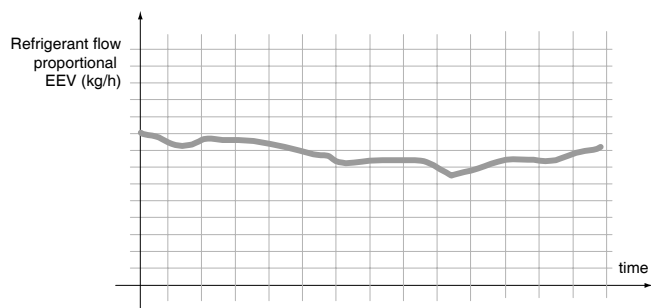
Une solution à la plupart, voire même peut-être la totalité, de ces lacunes de la régulation par TEV est la soupape à détente électronique, ci-après EV¹⁷ (Electronic Expansion Valve). Ce dispositif électronique servocommandé, disponible depuis quelques années déjà de façon répandue sur le marché, lamine le flux du fluide frigorigène de façon variable, en utilisant comme organes détecteurs (qui pour la TEV sont la prise de pression pour la compensation et le bulbe détecteur), un détecteur de pression et un de température. Les deux détecteurs sont appliqués à la sortie de l'évaporateur, lus et traités par un contrôleur qui décide en temps réel l'ouverture optimale de la soupape.

Types de EEV: - Proportionnelle - Impulsions

Il existe différentes solutions pour obtenir un flux variable du fluide frigorigène et toutes, généralement, obtiennent un résultat en variant la surface de passage au travers d'un orifice: certaines soupapes travaillent en variant la course d'un obturateur à pointe ou de forme différente (soupapes proportionnelles), d'autres ouvrent et ferment complètement l'orifice à des intervalles de temps variables (soupapes à impulsions ou à facteur d'utilisation).

D'un point de vue strictement théorique, il n'y a aucune différence dans l'un ou l'autre type de régulation si l'on considère une période de temps d'observation suffisamment longue: toutefois une régulation de type proportionnelle est préférable, en termes de précision et de régulation, car une modulation à impulsions de fluide frigorigène peut causer des problèmes d'instabilité et une efficacité réduite¹⁸.

Dans le diagramme suivant sont indiqués, en termes qualitatifs, la méthode et le résultat de la modulation pour EEV du type à impulsions et proportionnelles.



¹⁷ EXV également.

¹⁸ Une soupape à facteur d'utilisation détermine quoi qu'il en soit un flux impulsif de fluide frigorigène qui uniquement si intégré dans un temps suffisamment long, génère un effet "variable" de façon plus ou moins continue.



Une autre grande différence entre soupapes proportionnelles et PWM est la non-propagation de pulsations de pressions sur les lignes du fluide frigorigène, particulièrement gênantes surtout en cas de lignes très longues (ex. supermarchés) et en présence d'échangeurs de chaleur liquide-gaz. Les pulsations de pression peuvent aboutir à des dysfonctionnements, plus que des EEV, surtout du système de connexions dans son ensemble (ligne de liquide, distributeur, évaporateur, échangeur de chaleur...).

EEV – Applications et caractéristiques

Les sujets qui seront traités concernent essentiellement toutes les unités frigorifiques en général, telles que les pompes à chaleur et les réfrigérateurs pour usage civil et industriel, les armoires de climatisation pour shelter, pour centres de calcul, téléphonie et plus en général les close control units, les chambres froides et les vitrines frigorifiques pour exposition.

Mais quelles sont donc les caractéristiques qui rendent une EEV différente et toujours meilleure qu'une TEV? Compatibilité avec tout fluide frigorigène et plage de régulation très ample.

Précision de modulation du fluide frigorigène-
Régulation à microprocesseur-

Ces trois caractéristiques pourraient sembler au premier abord peu importantes pour justifier le passage d'une régulation TEV à une EEV, mais uniquement si l'évaluation est faite de façon peu approfondie: plus précisément, nous remarquons qu'une régulation électronique du flux du fluide frigorigène permet de résoudre de nombreux inconvénients de la régulation traditionnelle et d'obtenir autant de bénéfices.

1. Compatibilité avec tout fluide frigorigène et plage de régulation très ample

Ces caractéristiques limitent de façon drastique le nombre de modèles de EEV à utiliser dans les différentes unités, compte tenu que le fait d'être indépendantes du type de fluide et la longue course de l'obturateur dans les modèles de EEV les plus avancés, permet une utilisation extrêmement flexible de cet organe de régulation, en particulier:

1.1 Avantages

Logistique

- Il n'existe aucune distinction de soupapes par type de fluide frigorigène comme pour les TEV. Chaque soupape à détente électronique est compatible avec les différents fluides frigorigènes en vente. En outre, certaines EEV sont également compatibles avec des fluides frigorigènes moins répandus aujourd'hui mais qui le seront prochainement tels que NH_3 , CO_2 ou hydrocarbures.

→ **Simplification logistique** pour la réduction des codes, entrepôt, commandes, pièces de rechange...

- Une EEV est en mesure d'asservir une plage très élevée de puissances frigorifiques¹⁹. Pour mieux comprendre le sens de cette affirmation, il suffit de prendre en considération un catalogue général de TEV pour se rendre compte du nombre de corps, d'orifices et des combinaisons correspondantes nécessaires pour couvrir une gamme de puissance exigüe.
- Simplification logistique** pour la réduction de codes, entrepôt, commandes, pièces de rechange .. → Des unités frigorifiques qui sont normalement partagées en modules de deux ou plusieurs compresseurs pour permettre une modulation de la capacité frigorifique peuvent être remarquablement simplifiées en utilisant un seul compresseur (modulant), vu que la EEV est en mesure de gérer une puissance extrêmement variable sans aucun inconvénient dans la qualité de la régulation.

→ Dans des applications à détente récente et actuelle telles que les unités asservies par des compresseurs pouvant être étranglés de façon continue ou par des compresseurs à étages (qu'ils soient à vis, à pistons ou de type Scroll), l'utilisation d'une TEV présente souvent d'importants problèmes de pompages même après la réduction de la puissance de 25% seulement. Ces pompages réduisent remarquablement la qualité du service de l'unité en termes de constance du rendement frigorifique et de sauvegarde de la vie de l'unité.

¹⁹ Par exemple la E²V modèle E²V-18 couvre parfaitement les compresseurs de dimensions de 5kW à 14kW en climatisation avec R22 (Te=7°C et Tc=54°C), de 4kW à 13kW en réfrigération avec R22 (Te=-23°C et Tc=38°C) et de 2kW à 7kW avec R404a (Te=-23°C et Tc=38°C).



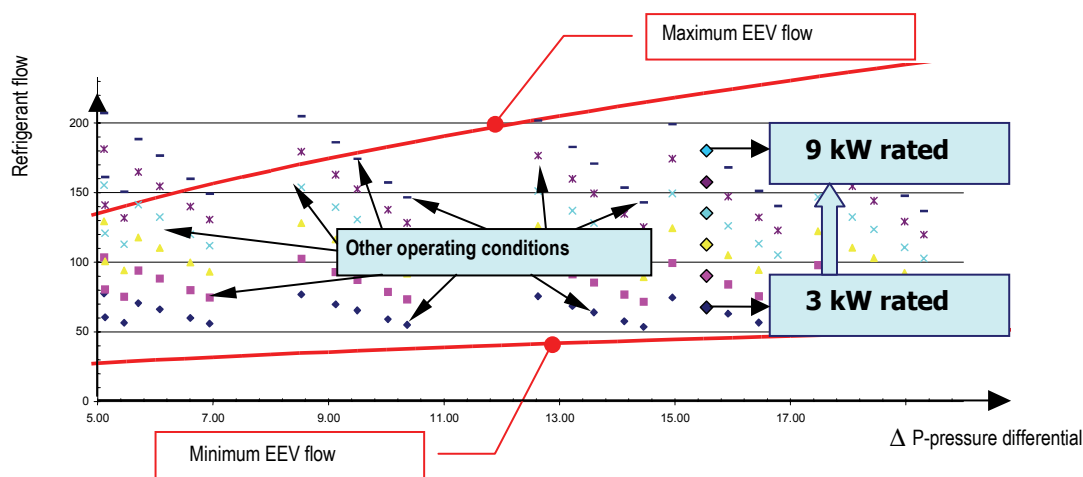
Plage de régulation

- Une EEV est en mesure d'asservir la plage de compresseurs susmentionnés, non seulement dans les conditions nominales ou d'après le projet correspondantes, mais également dans un champ extrêmement étendu de conditions opérationnelles.

Le dimensionnement d'une TEV est par contre étroitement lié à l'unité à servir et à la condition de projet nominale de celle-ci.

Lorsque les éléments de l'unité sont dimensionnés de façon appropriée (échangeurs de chaleur etc.), les conditions de travail de l'unité sont en fait sans limites et la soupape ne souffre pas de sur/sous-dimensionnement.

Le graphique ci-dessous, obtenu en utilisant une soupape de la famille CAREL E²V comme exemple, illustre les caractéristiques et les bénéfices susmentionnés. Sur les abscisses est indiqué le ΔP de travail de la soupape à détente²⁰. Sur les ordonnées est indiqué le flux du fluide frigorigène (R22) en kg/h: cette valeur indique tant les débits minimaux et maximaux de la soupape (lignes rouges) que le rendement des compresseurs (points de couleurs différentes).



Sur le graphique ont été tracés les rendements des différents compresseurs (de 3 à 9 kW en conditions nominales pour la climatisation²¹): les points de dimension supérieure représentent les conditions nominales. Il ressort de toute évidence du diagramme que la soupape examinée (CAREL E²V-14) est en mesure de gérer les compresseurs examinés virtuellement dans toute condition opérationnelle.

Les considérations faites sont naturellement valables également pour les autres EEV à condition que la plage de régulation soit effectivement aussi étendue que celle possible avec une CAREL E²V.

→ **Aucun inconvénient pour zones climatiques, températures de service, variation du point de consigne de service,...**

→ Des applications particulières, comme celles dans l'industrie alimentaire, exigent l'utilisation d'unités frigorifiques dans des situations opérationnelles très différentes entre elles, souvent du fait de conditions de la température d'évaporation différentes. Une régulation par TEV détermine nécessairement la duplication du circuit frigorifique alors que la technologie EEV réduit de façon drastique la complexité et le coût de l'installation en pouvant travailler de façon parfaite dans tout le champ de travail prévu.

²⁰ Du point de vue pratique, la valeur de la pression de condensation moins celle de la pression d'évaporation exprimée en bar.

²¹ Les considérations faites sont quoi qu'il en soit valables pour des applications dans la réfrigération



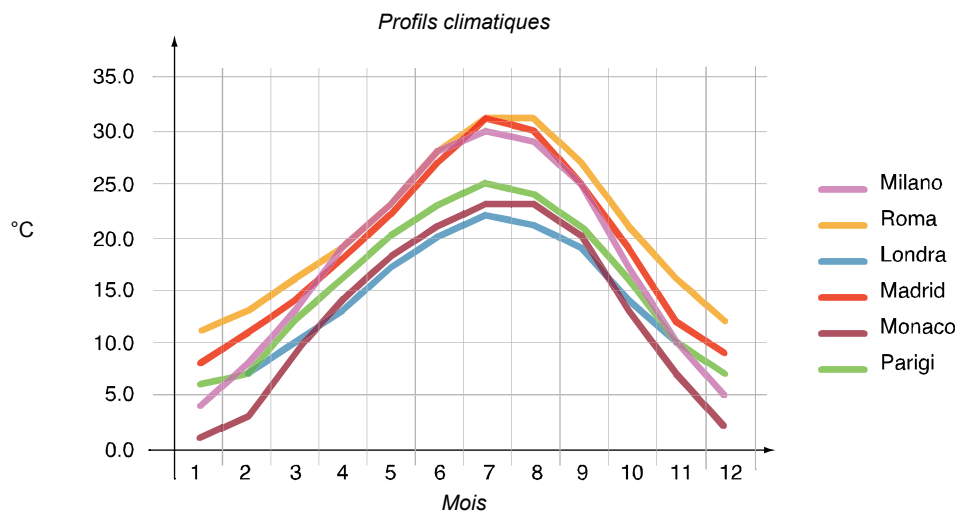
Économie énergétique

- Un sous-cas du point précédent méritant une note particulière est le service de l'unité à des pressions de condensations remarquablement basses: en fait les seules limites avec une EEV sont le ΔP minimal compatible avec le compresseur utilisé et la température extérieure. Comme reporté ci-dessus, une TEV peut normalement travailler dans un environnement très limité de ses valeurs nominales et avec elle, il n'est pas possible d'exploiter les basses températures extérieures pour augmenter l'efficacité de l'unité frigorifique.

→ Avec la EEV, il est possible d'obtenir de **remarquables économies énergétiques** du fait de l'augmentation du rendement moyen annuel du compresseur (jusqu'à même 25%²²). En effet une augmentation de l'efficacité de l'ordre de 2% par °C de température de condensation en moins est prévisible. Cela étant dû au fait que le compresseur piloté à ON/OFF réduit le temps de ON alors que celui étranglé ou en régulation à inverseur adopte un régime de fonctionnement inférieur à égalité de rendement.

Mettons particulièrement en évidence les utilisations de la technologie EEV dans **des unités frigorifiques de type technologique (refroidissement moules, close controls...)** et dans les **supermarchés** ou quoi qu'il en soit pour **de grands volumes de réfrigérés** de stockage de denrées alimentaires: pour ces catégories, les économies énergétiques pouvant être obtenues sont réellement importantes et très intéressantes pour l'utilisateur final, mais également pour le constructeur ou OEM en mesure de proposer une solution hautement novatrice.

À titre d'exemple, ci-dessous est reporté le profil climatique de différentes villes européennes: les périodes permettant des températures de condensation particulièrement basses sont assez prolongées dans des villes traditionnellement considérées comme tempérées, ce qui confirme bien que la technologie de régulation à EEV pouvant être obtenue est quoi qu'il en soit souvent importante.



²² Une économie de 25% est une estimation vraisemblable pour des unités de climatisation et de réfrigération fonctionnant toute l'année sous des régimes climatiques tempérés. Pour des unités à fonctionnement saisonnier (ex. Chiller pour usage civil), l'économie est inférieure mais quoi qu'il en soit sans aucun doute intéressante.

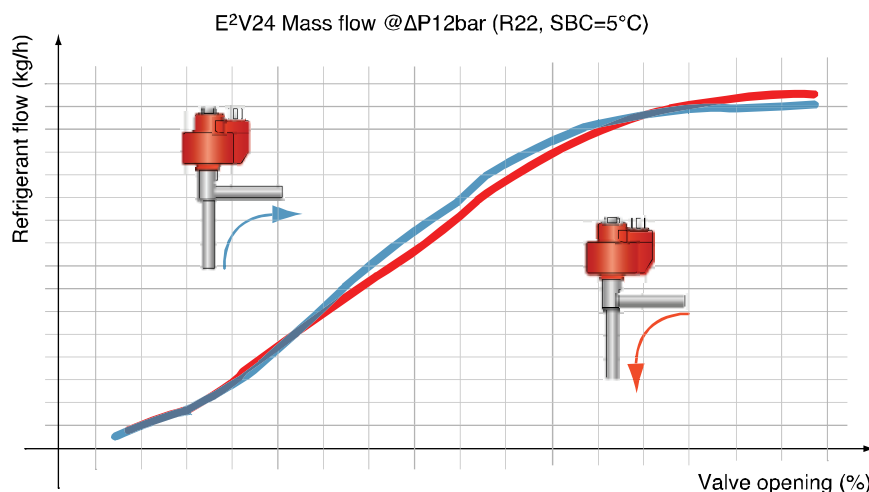


2. Précision de modulation du fluide frigorigène

La caractéristique mécanique de la EEV de permettre une ample gamme de régulation (dans les meilleurs modèles de type proportionnel) est due à la longue course de la buse de régulation qui peut arriver à dix millimètres et plus: on parle donc d'une régulation beaucoup plus précise même par rapport à la meilleure des TEV traditionnelles.

La régulation du flux du fluide frigorigène ne peut que profiter de cette remarquable résolution et précision: dans toutes les installations frigorifiques, tant sur le marché de la climatisation que sur celui de la réfrigération, l'obtention d'une régulation de la surchauffe²³ plus stable, et lorsqu'il y a lieu, à une valeur plus basse par rapport à l'utilisation d'une TEV, est sans aucun doute un avantage.

Les vannes bidirectionnelles en mesure de fournir dans les deux sens de fonctionnement, un débit de fluide frigorigène avec une caractéristique linéaire par rapport à l'ouverture méritent une signalisation à part: ci-après est reporté le diagramme expérimental obtenu à partir d'un essai de débit d'une EEV CAREL de type E²V-24.



La linéarité quasi parfaite du débit avec l'ouverture tant à de hautes qu'à de basses valeurs de celle-ci est évidente.

En analysant de façon détaillée les possibilités offertes par une modulation précise du fluide frigorigène pour la régulation de la surchauffe, les aspects les plus évidents sont ci-après spécifiés.

2.1 Avantages

Surchauffe stable (SH)

- La régulation de la surchauffe pouvant être obtenue avec une EEV est dans la plupart des cas plus stable et contrôlée qu'avec une TVE : le point de consigne est maintenu au fur et à mesure que les conditions de travail, de la saison et du régime de l'unité frigorifique varient.

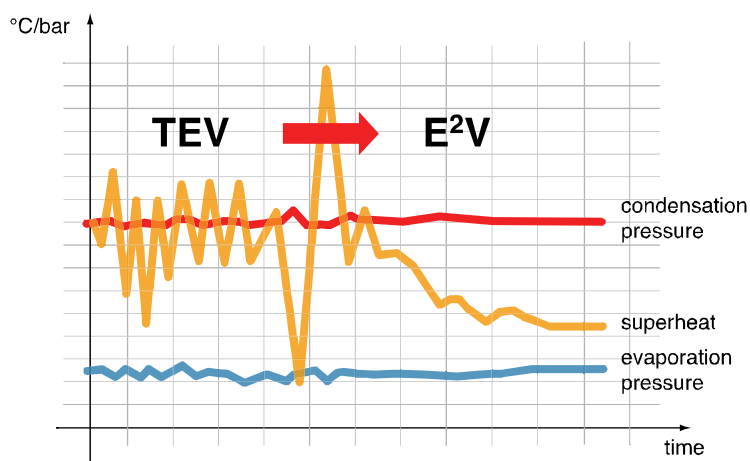
→ Rendement frigorifique de l'unité constante et avec une stabilisation rapide après le démarrage. Aucune nécessité de réétalonner le point de consigne de travail au fur et à mesure que les conditions environnementales varient.

²³ Surchauffe est la différence entre la température thermométrique et celle manométrique à la sortie de l'évaporateur.



Surchauffe basse (SH)

- Outre la stabilité, il est possible de compter sur une réduction de la surchauffe en en réduisant le point de consigne à la valeur souhaitée: cette possibilité de la régulation avec EEV n'entraîne aucun danger de pompages (ou hunting) typique d'une TEV. Dans le graphique ci-dessous, remarquer l'effet d'un interrupteur "à chaud" entre le fonctionnement d'une unité chiller avec TEV à EEV: l'abaissement de la valeur moyenne de la surchauffe et la stabilité de celle-ci et des pressions de service sont évidents.

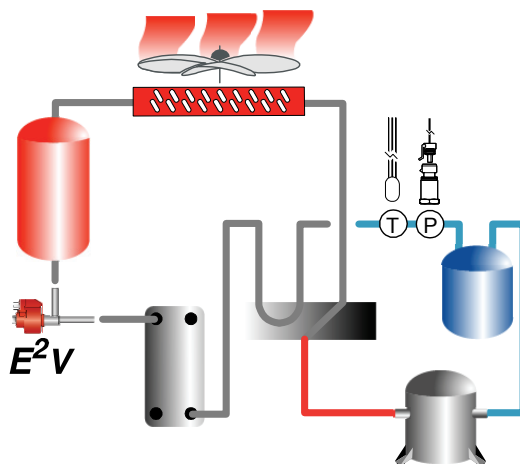


→ La réduction du point de consigne de la surchauffe a souvent comme conséquence l'augmentation du rendement frigorifique de l'unité du fait de l'augmentation successive de la pression d'évaporation et de la meilleure exploitation de la surface d'échange de l'évaporateur²⁴.

Bidirectionnelles

- Si l'on utilise une EEV bidirectionnelle (comme la E2V CAREL) dans une pompe à chaleur réversible, il est possible d'installer une seule soupape à détente EEV à la place des deux TEV dans la solution traditionnelle.

→ Le cas de la pompe à chaleur réversible est particulièrement indiqué pour l'utilisation d'une EEV car, outre les avantages communs à toutes les applications et aux bénéfices économiques et techniques relatifs, il est possible d'obtenir une réduction des coûts d'installation tant pour l'absence d'une deuxième soupape que pour la simplification du circuit du fluide frigorigène.



²⁴ La valeur de cette augmentation est d'un point de vue du pourcentage guère importante car en point de consigne elle est inférieure à 5°C et il est donc préférable, sauf dans des cas particuliers, de programmer un point de consigne supérieur à 4°C en privilégiant une régulation quoi qu'il en soit plus stable.



3. Régulation à microprocesseur

Le fait qu'une soupape à détente électronique soit pilotée par un microprocesseur faisant fonction tant de générateur de la séquence des pas (ou step) à exécuter que d'une intelligence décidant le besoin actuel de fluide frigorigène à l'évaporateur, pourrait sembler une considération évidente et intrinsèque au fait que la soupape en question est justement électronique.

En réalité, les possibilités offertes par le fait que la EEV se positionne exclusivement où le décide le contrôle, vont bien au-delà de la simple régulation de la surchauffe ainsi que l'offre la technologie traditionnelle à TEV: dans ces termes, la phrase susmentionnée devrait être corrigée par "...intelligence décidant le besoin **actuel et opportun** de fluide frigorigène...".

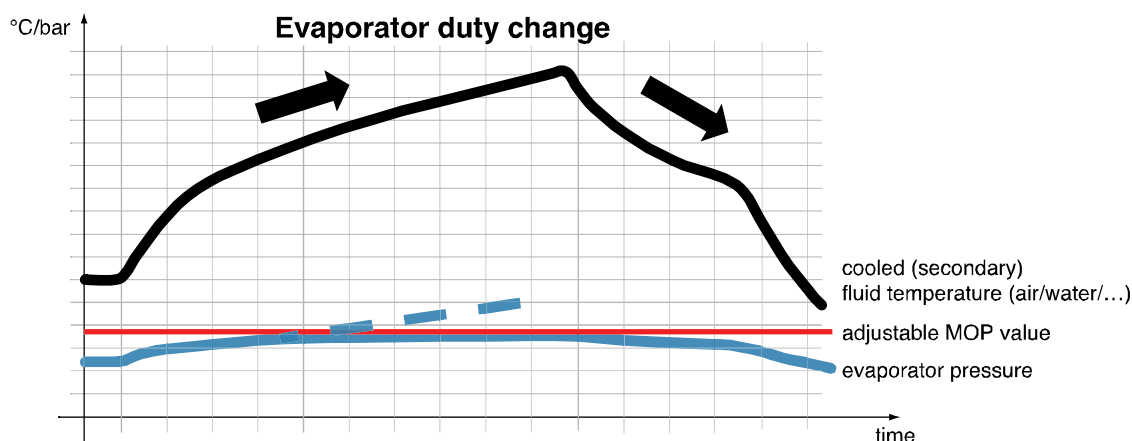
Cela signifie qu'il n'est pas sûr que se limiter à l'utilisation de la seule valeur de la surchauffe comme signal de régulation soit le meilleur choix: des routines de contrôle telles que MOP (Maximum Operating Pressure) et LOP (Lowest Operating Pressure), sont les premières auxquelles on pourrait penser, mais d'autres encore sont possibles avec un contrôle à microprocesseur. Dans tous les cas, celles-ci peuvent être remarquablement améliorées avec une EEV par rapport à celles pouvant être obtenues avec une TEV. En outre, la possibilité d'imposer à la EEV une position souhaitée laisse ouverte la possibilité à de multiples utilisations de la technologie décrite ici, personnalisées selon les exigences techniques du cas: double point de consigne, procédures particulières de démarrage ou d'arrêt, situations spécifiques comme évaporateurs noyés, etc. En fait, il n'existe aucune limite aux évolutions possibles du logiciel de régulation.

Ci-après sont spécifiées les caractéristiques relatives au logiciel de régulation implémenté dans les contrôles CAREL de dernière génération, disponibles pour le marché de la réfrigération et de la climatisation en version systémique avancée (pLAN et réseaux locaux), stand-alone et incorporé.

3.1 Avantages

MOP (Maximum Operating Pressure)

- La fonction de MOP limite vers le haut la pression d'évaporation dont la valeur est disponible par le biais de la sonde de pression lue directement par l'EV Driver pour le calcul de la surchauffe. La routine de régulation est configurable en termes de seuil et de gain ou énergie d'intervention et maintient la pression en dessous ou au même niveau que la valeur programmée dans le paramètre prévu de façon précise et stable, comme l'on peut le remarquer dans le diagramme suivant:



L'action typique de ce contrôle se manifeste avec une fermeture progressive de la soupape à détente de façon à contrôler la pression d'évaporation: cela entraîne de façon intrinsèque une augmentation de la surchauffe et de la température du gaz en sortie de l'évaporateur (ou température du gaz surchauffé ou en aspiration).

Une action incontrôlée pourrait aboutir à des valeurs dangereuses pour la sauvegarde du compresseur et pour ce motif, le contrôle devrait être équipé d'une limite à la valeur maximale pouvant être atteinte par le gaz surchauffé; cette fonction a été implémentée dans les algorithmes de régulation CAREL pour une fonctionnalité et une sécurité sans précédents.

→Départ à charge élevée à l'évaporation en toute sécurité pour le compresseur: des valeurs élevées dangereuses sont évitées dans la pression d'évaporation.



→ Régulation "souple" et précise de la pression d'évaporation, sans étages ni discontinuité.

LOP (Lowest Operating Pressure)

- De même que pour la fonction MOP, le LOP maintient la pression d'évaporation au-dessus d'un seuil programmable avec un gain programmable: si un transitoire des conditions opérationnelles ou un point de consigne de la surchauffe excessive ou tout autre phénomène amenaient la pression à des valeurs jugées excessivement basses, la routine agit en ouvrant de façon progressive et finement contrôlée la soupape à détente.

Toutefois ce contrôle ne doit pas être considéré de "régulation" dans le sens strict: il s'agit essentiellement d'une gestion des états de transitoire.

En outre, compte tenu que justement l'action est en direction d'ouverture, il existerait en cas d'absence de limitation la possibilité d'atteindre des ouvertures excessives et compromettre de telle façon, avec des retours de liquide, la sécurité du compresseur: la routine de LOP a donc été dotée d'une sécurité intrinsèque prévenant l'ouverture en cas de valeurs trop basses de la surchauffe.

HiTcond

- La fonction spéciale de HiTcond, brevetée par CAREL, permet de remplacer des augmentations temporaires de la pression/température de condensation au travers de la limitation de la potentialité du compresseur par EEV.
En bref, ce qui est réalisé c'est une fermeture contrôlée de la soupape à détente pour obtenir une réduction du flux du fluide frigorigène: cela aboutit à une réduction du rendement frigorifique à l'évaporateur, de la chaleur à éliminer au condenseur et une réduction successive de la température de condensation.

→ Les unités de climatisation technologique (par exemple de type shelter) sont souvent doubles pour éviter l'absence de service en cas de blocage d'une des deux: dans le cas de températures élevées extérieures, il est possible que les deux unités soient destinées à entrer en protection du fait de l'intervention du pressostat de haute pression. Avec l'utilisation de la routine de HiTcond, il est possible d'éviter cet inconvénient, en garantissant un service continu.

→ Ce qui vient d'être dit est également valable pour d'autres applications, en particulier celles qui n'ont aucun autre moyen pour réduire la puissance frigorifique, comme avec la réduction de puissance pour compresseurs à vis, inverseurs et d'autres encore.

Low noise

- Une modalité particulière de fonctionnement des soupapes à détente électronique consiste en la possibilité de fonctionner en sous-alimentant de façon voulue le circuit d'évaporation et par conséquent le compresseur.

Cela aboutit, comme nous l'avons vu dans le fonctionnement de la routine Hitcond, à une charge thermique réduite à éliminer au condenseur qui peut par conséquent fonctionner avec les ventilateurs correspondants à basse vitesse et avec un niveau sonore réduit: cette considération, associée au fait que les températures extérieures nocturnes sont souvent inférieures aux températures diurnes, aboutit à une ample applicabilité de cette fonction dans les cas où il existe des problèmes de bruit à proximité de l'unité.

En effet, dans la plupart des cas, une basse température extérieure aboutit à un besoin frigorifique réduit (par exemple en cas d'absence de rayonnement) et donc une réduction de la puissance frigorifique comme mentionné ci-dessus ne crée aucun problème de dysfonctionnement.

Naturellement, lorsque l'on travaille avec cette modalité, la consommation énergétique réduite n'est pas associée: la technologie à EEV permet de "piloter" à son gré le régime de fonctionnement des unités frigorifiques et l'utilisateur qui préfère un fonctionnement Low Noise en régime nocturne est probablement plus sensible au bruit qu'à la haute efficacité pouvant être obtenue dans les mêmes conditions.

→ Toutes les unités frigorifiques peuvent utiliser cette fonction mais des applications comme les unités de climatisation pour centrales téléphoniques, ponts radio GSM ou UMTS etc. sont particulièrement favorisées par cette possibilité du fait de la proximité habituelle des centres habités.



Die Expansion des Kältemittels in Klima- und Kälteanwendungen: warum ein elektronisches Expansionsventil?

Die traditionelle Lösung: - TEV

Alle Kühlanlagen für die Klima- oder Kältetechnik benutzen allgemein als Expansionsvorrichtung das traditionelle thermostatische Expansionsventil, das standardmäßig aus der Fühlerkugel - und in fortschrittlicheren Modellen - aus einem Druckabnehmer für die externe Kompensation besteht.

Dieses Drosselorgan, in der Folge TEV (Thermostatic Expansion Valve) genannt, schränkt trotz seiner Funktionstüchtigkeit und Operativität die Kühlanlage in Flexibilität und Leistungen ein.

Natürlich wirken einige Anlagentypen empfindlicher auf die Nachteile der TEV-Regelung, was auf die technischen Daten der Anlage selbst, die Betriebsparameter und/oder die Parameter für die saisonale Verteilung der Arbeitslast zurückzuführen ist.

Die innovative Lösung: - EEV

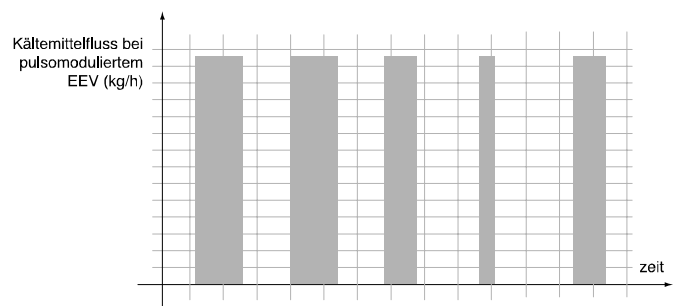
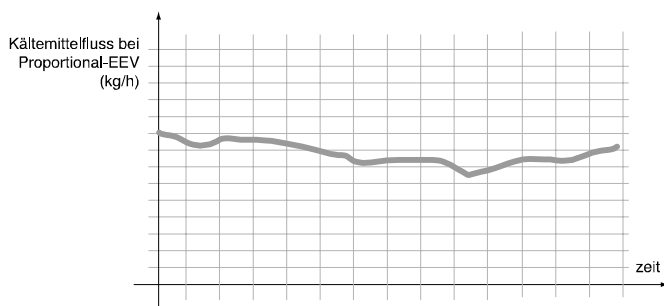
Die Nachteile der TEV-Regelung werden zum Großteil - wenn nicht zur Gänze - mit dem elektronischen Expansionsventil aufgehoben, das in der Folge EEV²⁵ (Electronic Expansion Valve) genannt wird. Diese elektronische Vorrichtung, die nunmehr seit einigen Jahren am Markt erhältlich ist, regelt den Kältemittelfluss auf variable Weise mit einem Druck- und einem Temperaturfühler (welche für das TEV der Druckabnehmer und die Fühlerkugel sind). Beide befinden sich am Verdampferaustritt, und ihre Werte werden von einer Steuervorrichtung mit optimaler Echtzeit-Regelung der Öffnung des Ventils abgelesen und verarbeitet.

EEV-Typen : -Proportionalventil -Pulsmoduliertes Ventil

Ein variabler Kältemittelfluss kann anhand verschiedener Lösungen erzeugt werden; allgemein wird dabei die Durchflussleistung durch eine Öffnung variiert: einige Ventile variieren den Hub des Ventilkugels oder einer anderer Form (Proportionalventile), andere öffnen und schließen die Öffnung in variablen Zeitintervallen (pulsmodulierte Ventile oder duty cycle-Ventile).

Rein theoretisch gesehen besteht bei einem ausreichend langen Beobachtungszeitraum kein Unterschied zwischen den beiden Regelarten. Eine Proportionalregelung ist aber in Sachen Genauigkeit und Steuerung zu bevorzugen, da eine Pulsmodulation des Kältemittels zu Instabilität und geringeren Leistungen führen kann²⁶.

Im folgenden Diagramm werden die Methode und der Vorgang der Modulation nach EEV-Typ qualitativ aufgezeigt.



Ein weiterer bedeutender Unterschied zwischen Proportionalventilen und PWM-Ventilen besteht in der Übertragung der Druckpulse in den Kältemittelleitungen, die besonders bei sehr langen Leitungen (in Supermärkten) und bei Flüssig-Gas-Wärmetauschern störend wirken. Die Druckpulse führen zu Funktionsstörungen nicht so sehr im EEV als im Anschlusssystem (Flüssigkeitsleitung, Verteiler, Verdampfer, Wärmetauscher, etc.).

²⁵ Auch EXV.

²⁶ Ein duty cycle-Ventil steuert den Pulsfluss des Kältemittels so, dass nur bei einer ausreichend langen Zeit ein "variabler" Dauereffekt erzielt wird.



EEV - Anwendungen und Eigenschaften

Die hier erläuterten Details betreffen alle Kälteanwendungen allgemein, wie Wärmepumpen und Kühlschränke für den Privatgebrauch oder die Industrie, die Klimaanlage für Shelter, für Rechenzentren, Telekommunikationssysteme und allgemeiner Close Control Units, Kühlzellen und Kühlvittrinen.

Welche Eigenschaften machen ein EEV anders und besser als ein TEV?

1. **Kompatibilität mit jedem Kältemittel und sehr großer Regelbereich**
2. **Modulationsgenauigkeit des Kältemittels**
3. **Mikroprozessorgesteuerte Regelung**

Rechtfertigen diese drei Eigenschaften den Übergang von einer TEV-Regelung zu einer EEV-Regelung? Eine detaillierte Analyse ergibt, dass die elektronische Regelung des Kältemittelflusses viele Nachteile der traditionellen Regelung aufhebt und zusätzliche Vorteile schafft.

1. Kompatibilität mit jedem Kältemittel und sehr großer Regelbereich

Diese Merkmale reduzieren die Anzahl der EEV-Modelle, die in den verschiedenen Anlagen benutzt werden, drastisch, da die Unabhängigkeit vom Kältemitteltyp zusammen mit dem grossen Hub des Ventils in den fortschrittlichsten EEV-Modellen eine extrem vielseitige Verwendung dieser Regelorgans ermöglicht:

1.1 Vorteile

Logistik

- Es gibt keine Unterscheidung der Ventile nach Kältemitteltyp wie für die TEV. Jedes elektronische Expansionsventil ist mit verschiedenen im Handel erhältlichen Kältemitteln kompatibel, einige EEV auch mit weniger üblichen Kältemitteln der Zukunft wie NH_3 , CO_2 oder Kohlenwasserstoffe.
→ **Vereinfachte Logistik** durch weniger Codes, Lagerbestände, Aufträge, Ersatzteile...
- Kann ein EEV sehr viele Kühlleistungen verwalten?²⁷ Ein Blick auf einen allgemeinen TEV-Katalog macht deutlich, wie viele Ventilkörper, Anschlussgrössen und Kombinationen nötig sind, um diverse Leistungen abzudecken.
- **Vereinfachte Logistik** durch weniger Codes, Lagerbestände, Aufträge, Ersatzteile... → Die Kälteanlagen, die normalerweise zwei oder mehrere Verdichter besitzen, um eine Modulation der Kühlleistung zu ermöglichen, können mit nur einem Verdichter (modulierend) vereinfacht werden, da das EEV eine sehr variable Durchflussleistung ohne qualitative Nachteile für die Regelung steuert.
→ In Anwendungen, die von kontinuierlich leistungsgesteuerten Verdichtern oder Stufenverdichtern (Schrauben-, Kolben- oder Scroll-Verdichter) versorgt werden, bringt ein TEV oft viele Probleme der Schwankungen auch nach der Verminderung der Leistung um nur 25% mit sich. Diese Schwankungen senken die Qualität in Sachen Konstanz der Kühlleistung und Lebenszeit der Anlage selbst.

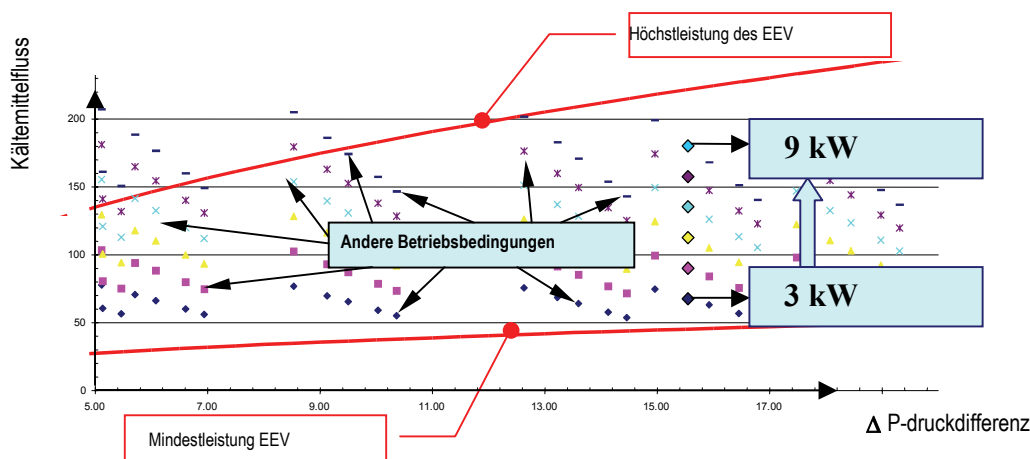
²⁷ Das E²V Modell E²V-18 deckt Verdichter mit 5kW bis 14kW in Klimaanlage mit R22 (Te=7°C und Tc=54°C), von 4kW bis 13kW in Kälteanwendungen mit R22 (Te=-23°C und Tc=38°C) und von 2kW bis 7kW mit R404a (Te=-23°C und Tc=38°C) ab.



Regelbereich

- Ein EEV bedient diverse Arten von Verdichtern nicht nur bei Nominalbedingungen oder Projektbedingungen, sondern auch bei sehr ausgedehnten Betriebsbedingungen. Die Dimensionierung eines TEV hängt oft von der Anlage und von den Projektbedingungen ab. Sobald die Elemente der Anlage angemessen dimensioniert sind (Wärmetauscher etc.), sind die Betriebsbedingungen unbegrenzt und eine Unter-/Überdimensionierung des Ventils ist nicht mehr ausschlaggebend.

Das nachfolgende Diagramm eines E²V-Ventils von CAREL zeigt die oben beschriebenen Eigenschaften und Vorteile auf. Auf der X-Achse ist der Betriebsdruck ΔP des Expansionsventils angegeben²⁸, auf der Y-Achse der Kältemittelfluss (R22) in kg/h: dieser Wert beinhaltet sowohl die Mindest- und Höchstdurchflussleistungen des Ventils (rote Linien) als auch die Verdichterleistung (andersfarbige Punkte).



Das Diagramm zeigt die Leistungen der verschiedenen Verdichter (von 3 bis 9 kW bei Nominalbedingungen für die Klimaanlage²⁹); die größeren Punkte stellen die Nominalbedingungen dar.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass das untersuchte Ventil (CAREL E²V-14) fähig ist, die geprüften Verdichter in jedem Betriebszustand zu steuern.

Die Betrachtungen gelten natürlich auch für die anderen EEV, sofern der Regelbereich effektiv so groß wie jener eines E²V-Ventils von CAREL ist.

→ **Kein Nachteil für Klimazonen, Betriebstemperaturen, Änderung der Arbeitssollwerte, etc.**

→ Besondere Anwendungen wie jene der Nahrungsmittelindustrie verlangen Kühlanlagen, deren einzelne Betriebsbedingungen sich aufgrund verschiedener Verdampfungs Temperaturen oft bedeutend voneinander unterscheiden. Eine TEV-Regelung bringt notwendigerweise eine Expansions-Duplikation des Kältekreises mit sich, während die EEV-Technologie die Komplexität und die Kosten der Anlage deutlich verringert, da sie im gesamten vorgesehenen Arbeitsbereich arbeiten kann.

²⁸ Kondensationsdruck minus Verdampfungsdruck, ausgedrückt in Bar.

²⁹ Diese Betrachtungen gelten ebenfalls für Kälteanwendungen.



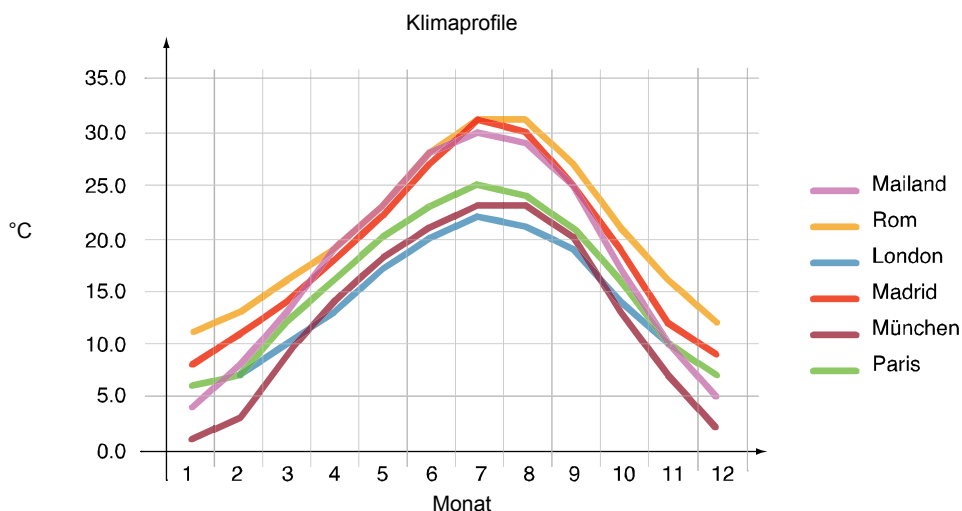
Energieeinsparung

- Besondere Aufmerksamkeit verdient der niedrige Kondensationsdruck der Anlage: die einzigen Grenzen bei der EEV-Regelung sind der Mindestdruck ΔP , der mit dem benutzten Verdichter kompatibel sein muss, sowie die Außentemperatur. Wie oben angegeben kann ein TEV normalerweise in einem engen Bereich um seine Nennwerte herum arbeiten; also ist es nicht möglich, die tiefen Außentemperaturen zu nutzen, um die Leistungsfähigkeit der Kälteanlage zu erhöhen.

→ Mit dem EEV können bedeutende **Energieeinsparungen** für die Steigerung der jährlichen Durchschnittsleistung des Verdichters (auch um 25%³⁰) erzielt werden. Vorauszusehen ist eine Leistungssteigerung um 2% pro °C Kondensationstemperatur weniger. Dies ist deshalb möglich, weil der EIN/AUS-Verdichter die EIN-Zeit reduziert, während der leistungsgeregelte oder Inverterverdichter für dieselbe Leistung bei minderem Betrieb arbeitet.

Besondere Aufmerksamkeit gilt den Verwendungsmöglichkeiten der EEV-Technologie in **technologischen Kälteanlagen (Close controls,...)** und in **Supermärkten oder bei großen Lebensmittelkühlagern**: für diese Kategorien sind die erzielbaren Energieeinsparungen bedeutend und sicherlich interessant für den Endnutzer, aber auch für den Konstrukteur oder OEM, die eine hochinnovative Lösung anbieten können.

Beispielshalber wird die Klimelage verschiedener europäischer Städte wiedergegeben: die Zeiträume mit besonders tiefen Kondensationstemperaturen sind auch in Städten mit mäßigem Klima ausgedehnt, was bestätigt, dass die Einsparung mit der EEV-Technologie oft relevant ist.



³⁰ Eine Einsparung von 25% ist eine Schätzung für Klima- und Kälteanlagen, die das gesamte Jahr bei gemäßigttem Klima in Betrieb sind. Für saisonal betriebene Anlagen (z. B. Kaltwassersätze für Privatgebrauch) ist die Einsparung zwar geringer, aber trotzdem bedeutend.

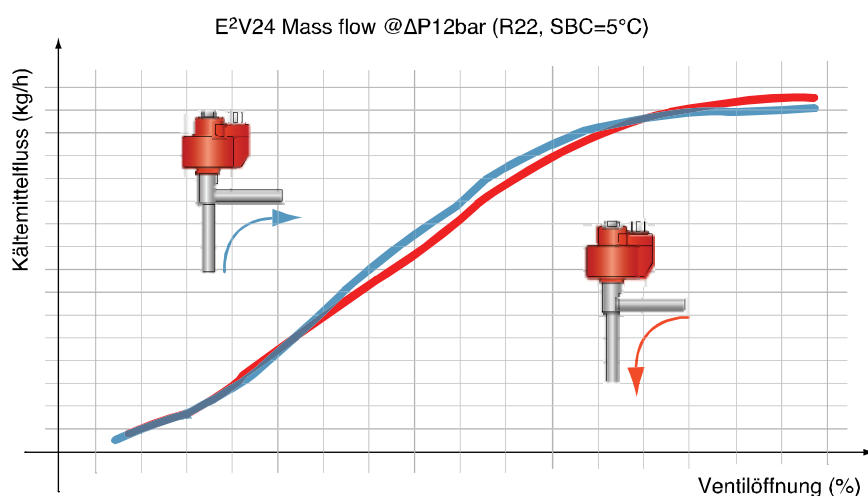


2. Modulationsgenauigkeit des Kältemittels

Die mechanische Eigenschaft des EEV, einen weiten Regelbereich zu ermöglichen (in den besten Modellen mit Proportionalregelung), ist auf die Länge des Pins zurückzuführen, der über 10 mm erreichen kann: hier ist im Vergleich zu den besten traditionellen TEV von einer viel genaueren Regelung die Rede.

Für die Regelung des Kältemittelflusses ist diese Genauigkeit und Auflösung von Nutzen: in allen Kälteanlagen sowohl im Klima- als auch Kältebereich ist eine stabilere Regelung der Überhitzung³¹ und tiefere Kondensationstemperaturen im Vergleich zu einem TEV sicherlich vorteilhaft.

Besonderes Interesse gilt den bidirektionalen Ventilen, die das Kältemittel linear zur Öffnung in beide Durchflussrichtungen befördern können: es folgt ein Probediagramm, das aus einer Leistungsprobe eines EEV von CAREL des Typs E²V-24 resultiert.



Hier wird die fast perfekte Linearität des Durchflusses mit der Öffnung sowohl bei hohen als auch tiefen Werten offensichtlich.

Eine detaillierte Analyse der Möglichkeiten, die eine genaue Modulation des Kältemittels zur Regelung der Überhitzung mit sich bringt, ergibt Folgendes.

Stabiler Überhitzung (SH)

- Die Regelung der Überhitzung mit einem EEV erfolgt meistens stabiler und kontrollierter als mit einem TEV: der Sollwert wird bei der Änderung der Arbeits-, Saisons-, und Betriebsbedingungen der Kälteanlage beibehalten.

→ Konstante Kühlleistung der Anlage mit schneller Stabilisierung nach dem Start. Keine Notwendigkeit, den Arbeitssollwert bei Änderung der Betriebsbedingungen neu einzustellen.

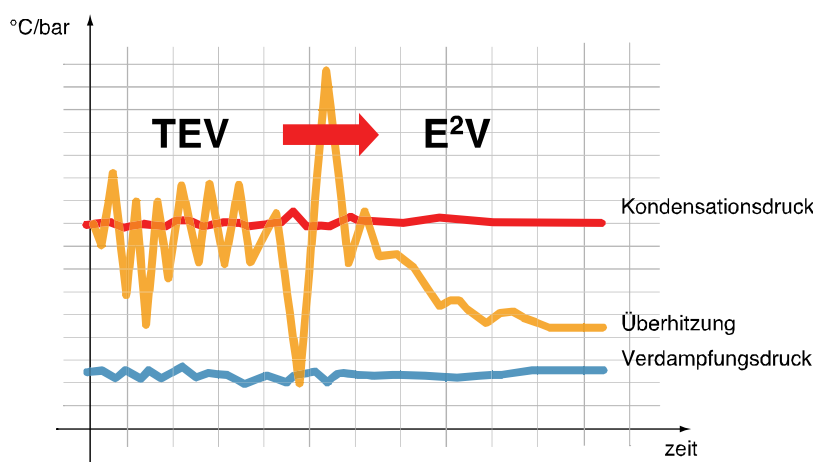
³¹ Die Überhitzung ist die Differenz zwischen der thermometrischen und manometrischen Temperatur am Verdampferausgang.



Niedrige Überhitzung (SH)

- Neben der höheren Stabilität ergibt sich auch eine Verminderung der Überhitzung durch Senkung des Sollwertes auf den gewünschten Wert: diese Möglichkeit der Regelung mit EEV vermeidet die Gefahr von Schwankungen (hunting), die typisch für ein TEV sind.

Das Diagramm unten zeigt die Wirkung einer Umschaltung von der TEV-Steuerung auf die EEV-Steuerung eines Kaltwassersatzes: die Senkung der durchschnittlichen Überhitzung und die Stabilität dieser und des Arbeitsdruckes sind offensichtlich.

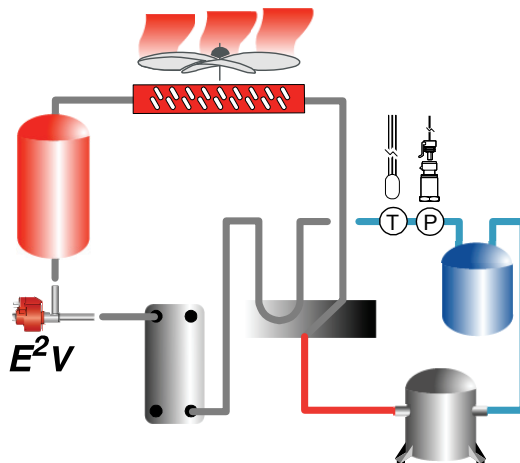


→ Die Verminderung des Überhitzungssollwertes hat oft die Erhöhung der Kühlleistung der Anlage mit folglichem Anstieg des Verdampfungsdruckes und eine bessere Nutzung der Tauschfläche des Verdampfers zur Folge³².

Bidirektional

- Wird ein bidirektionales EEV (wie das E²V von CAREL) in einer umkehrbaren Wärmepumpe benutzt, muß auch nur ein Expansionsventil EEV anstelle der beiden traditionellen TEV installiert werden.

→ Eine umkehrbare Wärmepumpe ist eine ideale Anwendung für ein EEV, da neben den Vorteilen, die sich für alle Anwendungen mit ihren wirtschaftlichen und technischen Nutzen ergeben, eine Betriebskostenreduzierung der Anlage (Verwendung von nur 1 Ventil) und die Vereinfachung des Kältekreises möglich sind.



³² Diese Erhöhung ist in Prozent ausgedrückt nicht bedeutend, da der Sollwert unter 5°C liegt und es somit besser ist, außer in Sonderfällen einen Sollwert von über 4°C einzustellen und eine stabilere Regelung zu bevorzugen.



3. Mikroprozessorgesteuerte Regelung

Dass ein elektronisches Expansionsventil von einem Mikroprozessor gesteuert wird, der sowohl die Schrittsequenz festlegt als auch über den aktuellen Bedarf an Kältemittel für den Verdampfer entscheidet, könnte als eine logische Folge dessen erscheinen, dass es sich um ein elektronisches Ventil handelt. In Wirklichkeit gehen die Möglichkeiten, die sich aus der Tatsache ergeben, dass das EEV nur dort positioniert wird, wo es der Regler entscheidet, über die einfache Regelung der Überhitzung wie beim traditionellen TEV-Ventil hinaus: in diesem Sinne müsste der Satz oben folgendermaßen korrigiert werden: „der über den **aktuellen und angemessenen** Bedarf an Kältemittel entscheidet...“

Das heißt nicht, dass die Beschränkung auf den Überhitzungswert als Steuersignal die beste Lösung ist: Variablen wie MOP (Maximum Operating Pressure) und LOP (Lowest Operating Pressure), aber auch weitere sind mit einem Mikroprozessorregler möglich. Auf jeden Fall können auch sie mit einem EEV im Vergleich zu einem TEV deutlich verbessert werden. Die Möglichkeit, dem EEV die gewünschte Position aufzuerlegen, macht außerdem zahlreiche Verwendungen mit der beschriebenen Technologie möglich, die je nach technischen Anforderungen kundenspezifisch gestaltet werden können: doppelter Sollwert, besondere Start- oder Stopp-Verfahren, besondere Situationen wie geflutete Verdampfer etc.

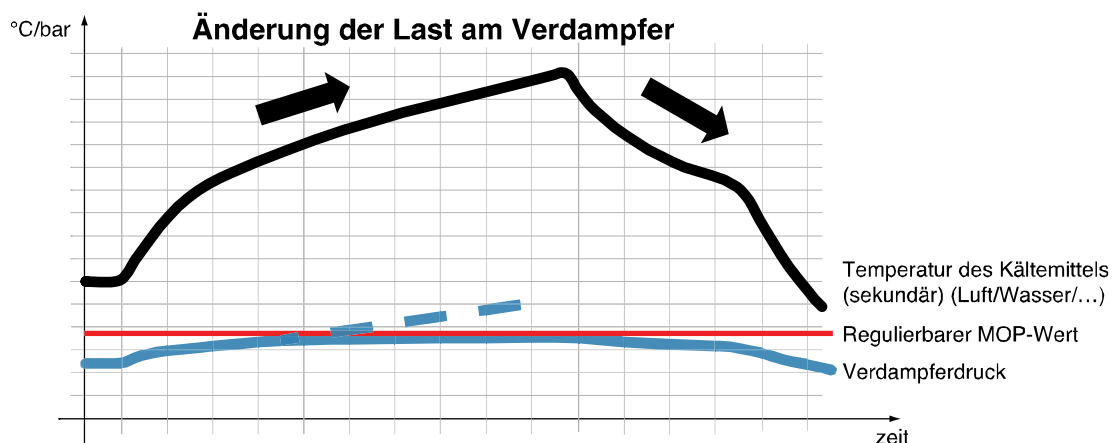
Es gibt keine Einschränkungen für mögliche Entwicklungen der Regelungssoftware.

In der Folge werden die Daten der Regelungssoftware der neuesten CAREL-Regler angegeben, die für fortschrittliche Stand-alone- und built-in-Kälte- und Klimasysteme (pLAN und lokale Netzwerke) verfügbar sind.

3.1 Vorteile

MOP(Maximaler Betriebsdruck - Maximum Operating Pressure)

- Der MOP begrenzt den Verdampfungsdruck, dessen Wert mittels Druckfühler direkt vom EV-Treiber für die Berechnung der Überhitzung gemessen wird, nach oben. Dieser Wert konfiguriert die Schwelle und Proportionalkonstante oder Betriebsenergie und hält den Druck genau und stabil unter dem oder am eingestellten Wert, wie aus dem folgenden Diagramm ersichtlich ist.



Die typische Aktion dieser Steuervorrichtung ist die fortlaufende Schließung des Expansionsventils, um den Verdampfungsdruck einzuschränken: dies führt zur Erhöhung der Überhitzung und Gastemperatur am Verdampferaustritt (oder der Temperatur des überhitzten Gases oder Sauggases).

Eine nicht kontrollierte Aktion könnte gefährliche Werte für den Verdichter mit sich bringen; aus diesem Grund müsste der Regler über einen Höchstwertbegrenzer des überhitzten Gases verfügen: diese Funktion ist in den Regelalgorithmen von CAREL vorhanden und garantiert eine nie zuvor mögliche Leistung und Sicherheit.

→ Starts mit hohen Verdampferlasten in totaler Sicherheit für den Verdichter: somit werden gefährliche hohe Verdampfungsdruckwerte, vermieden.

→ „Weiche“ und genaue Regelung des Verdampfungsdruckes ohne Stufen oder Kontinuitätsstörung.



LOP(Minimale Betriebsdruck - Lowest Operating Pressure)

- Analog zum MOP hält der LOP den Verdampfungsdruck über einer einstellbaren Schwelle und Proportionalkonstante: bringen zeitweilige Betriebsbedingungen, ein übermäßiger Überhitzungssollwert oder ein anderes Phänomen den Druck auf zu tiefe Werte, öffnet die Routine das Expansionsventil auf kontinuierliche und kontrollierte Weise.

Diese Steuerung ist aber nicht als übliche „Regelung“ zu verstehen, da es sich vor allem um die Verwaltung von zeitweiligen Zuständen handelt.

Da die Aktion eine Öffnung bewirkt, würden bei fehlender Einschränkung übermäßige Öffnungen erreicht, was die Sicherheit des Verdichters wegen der Flüssigkeitsrückflüsse beeinträchtigen würde. Die LOP-Routine wurde somit mit einer internen Sicherung ausgerüstet, welche die Öffnung bei zu niedrigen Überhitzungswerten verhindert.

HiTcond

- Die Sonderfunktion HiTcond, die von CAREL patentiert wurde, gleicht zeitweilige Anstiege des Kondensationsdruck/der Temperatur durch die Begrenzung der Verdichterleistung mittels EEV aus.

Es erfolgt praktisch eine kontrollierte Schließung des Expansionsventils, um den Kältemittelfluss zu vermindern: dies führt zu einer Reduzierung der Kühlleistung am Verdampfer, der abzubauenen Wärme am Kondensator und zu einer Senkung der Kondensationstemperatur.

→ Die technologischen Klimaanlage (wie Shelters) sind oft doppelt vorhanden, um den Betrieb bei Ausfall einer der beiden zu gewährleisten: bei hohen Außentemperaturen kann es vorkommen, dass beide Anlagen ihre Sicherungen aufgrund des Eingriffes des Überdruckreglers aktivieren. Dank der HiTcond-Routine kann diese Situation vermieden und ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet werden.

→ Das oben Beschriebene gilt auch für andere Anwendungen, insbesondere für jene, die keine andere Möglichkeit haben, die Kühlleistung zu reduzieren, als mit leistungsgeregelten Schrauben-, Inverterverdichtern o.a.

Low noise

- In diesem Funktionsmodus wird die Kälteleistung der Anlage auf ein Minimum verringert. Dies führt wie bei der HiTcond-Routine zu einer reduzierten thermischen Last am Kondensator, dessen Ventilatoren also mit niedriger Geschwindigkeit und geräuscharm arbeiten können: zusammen mit der Tatsache, dass die nächtlichen Außentemperaturen oft unter den Tagestemperaturen liegen, kann diese Funktion also dann eingesetzt werden, wo Lärm in der Nähe der Anlagen ein Problem darstellt. In den meisten Fällen führt eine niedrige Außentemperatur zu einem geringeren Kühlbedarf; eine Senkung der Kühlleistung führt also nicht zu Funktionsstörungen.

Dieser Modus ist aber nicht mit einer Energieeinsparung verbunden: mit der EEV-Technologie kann eine Kälteanlage nach Belieben „betrieben“ werden, und der Benutzer der Low Noise-Funktion in der Nacht ist wahrscheinlich mehr an der Senkung des Lärmpegels interessiert als an einer hohen Leistungsfähigkeit unter denselben Bedingungen.

→ Alle Kälteanlagen können diese Funktion benutzen; für Klimaanlage für Telefonzentralen, GSM-/ UMTS-Funkbrücken etc. ist diese Möglichkeit aufgrund der üblichen Nähe zu bewohnten Ortszentren von Nutzen.



La expansión del refrigerante en acondicionamiento y refrigeración: ¿porqué una válvula de expansión electrónica?

La tradicional:

Todas las unidades frigoríficas, tanto si se han desarrollado para el mercado del acondicionamiento o de la refrigeración, han utilizado de una forma general como dispositivo de expansión la válvula de expansión termostática del tipo tradicional: se refiere, por tanto, al componente estándar que en su cabezal está dotado de un bulbo sensor y en los modelos más evolucionados, con una toma de presión para la compensación externa. Este órgano de laminación, en adelante TEV (Thermostatic Expansion Valve), siendo obviamente funcional y generalmente permite "hacer operativas" las unidades en las cuales está instalado, presenta algunas características que limitan en muchos aspectos la versatilidad de la instalación y las prestaciones obtenibles.

Obviamente algunas categorías de instalaciones son más sensibles a los aspectos desfavorables de la regulación mediante TEV, ya sea por las especificaciones de la instalación, parámetros operativos y/o distribución de las cargas de trabajo en las distintas estaciones anuales.

La innovación: - EEV

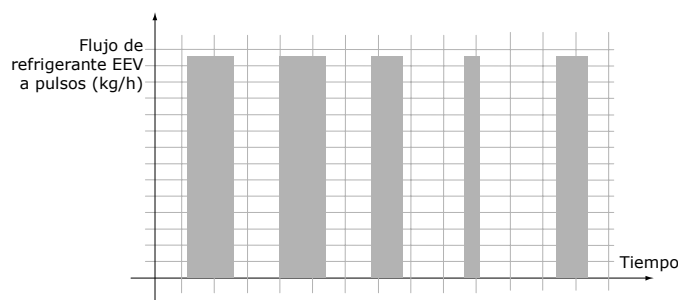
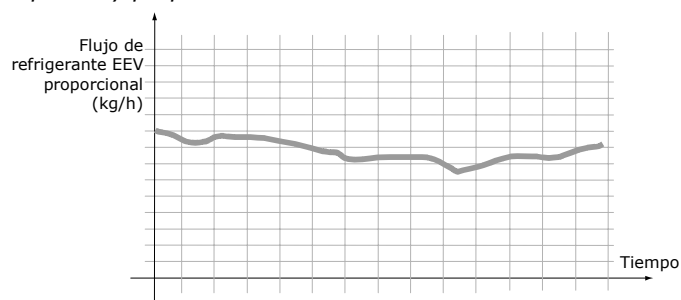
Una solución a la mayor parte, si no a la totalidad, de estas lagunas de la regulación con la válvula TEV, la presenta la válvula de expansión electrónica, en adelante EEV³³ (Electronic Expansion Valve). Este dispositivo electrónico servo accionado, existente en el mercado desde hace algunos años, lamina el flujo del refrigerante de forma variable utilizando como órganos sensores (que en la TEV son, la toma de presión para la compensación y el bulbo sensor de temperatura) un sensor de presión y uno de temperatura. Ambos sensores son instalados a la salida del evaporador, leídos y procesados por un controlador que decide en tiempo real la apertura óptima de la válvula

Tipos de EEV: - Proporcional - Impulsos

Existen varias soluciones para obtener un flujo variable de refrigerante y todas generalmente obtienen el resultado variando la superficie de paso a través de un orificio: algunas válvulas trabajan variando la carrera de un obturador de "aguja" o por cualquier otro sistema (válvula proporcional), otras cierran y abren completamente el orificio en intervalos variables de tiempo (válvula a impulsos o duración de ciclo).

Desde un punto de vista estrictamente teórico no existe ninguna diferencia entre un sistema u otro si se considera un periodo de tiempo de observación suficientemente largo: sin embargo una regulación del tipo proporcional es preferible en términos de precisión, regulación y durabilidad, en cuanto una modulación de impulsos de refrigerante puede causar problemas de inestabilidad y escasa eficacia³⁴.

En el diagrama siguiente se indica en términos cualitativos el método y el resultado de la modulación mediante EEV a impulsos y proporcional.



Otra notable diferencia entre la válvula del tipo proporcional y PWM es la no propagación de pulsos de presión sobre la línea del refrigerante, particularmente perjudiciales sobretudo en caso de líneas de gran longitud (por ejemplo, supermercados) y en presencia de intercambiadores de calor líquido/gas. Las pulsaciones de presión pueden llevar a malfuncionamientos, no tanto en la propia EEV, si no, en las conexiones de los distintos componentes de los equipos (línea de líquido, distribuidores, evaporadores, intercambiadores de calor, etc.... y todo debido al temido golpe de "ARIETE").

³³ También EXV

³⁴ Una válvula a modulación de impulsos determina por tanto un flujo de refrigerante a pulsos que sólo si se integra en un tiempo suficientemente largo genera un efecto "variable" que puede asemejarse al continuo.



EEV - Aplicaciones y Características

Las aplicaciones que queremos exponer son esencialmente sobre todas las unidades frigoríficas, como la bomba de calor y la refrigeración para usos comerciales e industriales, acondicionadores tipo "shelter" para centros de calculo, telefonía etc., cámaras frigoríficas, bancos frigoríficos para exposiciones, etc.

Pero ¿cuales son las principales características que hacen a una EEV diferente y siempre mejor que una TEV?

Compatibilidad con todos los refrigerantes y rango de regulación muy grande

Precisión de modulación del refrigerante

Regulación mediante microprocesador.

Estas tres características pueden parecer a simple vista poco relevantes para justificar el cambio de una regulación TEV (válvula termostática de expansión) por la EEV (válvula electrónica de expansión), pero solo si se valora de modo superficial: descendiendo en el detalle, se percibe que mediante una regulación electrónica del flujo de refrigerante se resuelven muchos inconvenientes que presenta la regulación tradicional, y se consiguen notables beneficios.

1. Compatibilidad con todos los refrigerantes y gama de regulación muy extensa.

Esta característica limita drásticamente el número de modelos de válvulas EEV a utilizar en las diversas unidades, considerando que el estar desvinculado del tipo de fluido refrigerante y la larga carrera del obturador en los modelos de EEV mas avanzados permite un uso extremadamente versátil de estos elementos de regulación, en particular:

1.1 Ventajas conseguidas

Logística

- No existe ninguna distinción para los distintos tipos de refrigerante como requiere la válvula tradicional TEV. La válvula electrónica es compatible con todos los refrigerantes del mercado. Por otra parte algunos modelos de la EEV son también compatibles con refrigerantes menos comunes actualmente, pero de próxima difusión, como el NH₃, CO₂ o Hidrocarburos.

→ **Simplificación logística** para reducir códigos, almacén, pedidos, recambios,...

- Una sola válvula EEV nos permite una variación de potencia frigorífica³⁵ muy importante. Para comprender mejor este concepto, basta hojear un catálogo de válvulas TEV y ver la cantidad de cuerpos de válvulas y orificios que son necesarios para cubrir la misma gama de potencia que con una sola válvula electrónica.
- Simplificación logística;** para reducir códigos, almacén, pedidos, recambios,... → Unidades frigoríficas que normalmente están divididas en módulos de dos o más compresores para permitir una modulación de la capacidad frigorífica, puedes ser notablemente simplificadas utilizando un solo compresor (modulante), siendo la EEV capaz de gestionar una potencia extremadamente variable sin ningún inconveniente en la calidad de la regulación.

→ En aplicaciones de reciente y actual expansión, como las unidades servidas por un compresor con parcialización continua o compresores por etapas (ya sean a tornillo, pistones o del tipo Scroll), la utilización de una TEV (válvula convencional) presentan a menudo notables problemas de "pendulación" incluso reduciendo la potencia tan solo el 25%. Esta "pendulación" reduce notablemente la calidad del servicio de la unidad frigorífica en términos de constancia de la potencia frigorífica como de la vida de la misma.

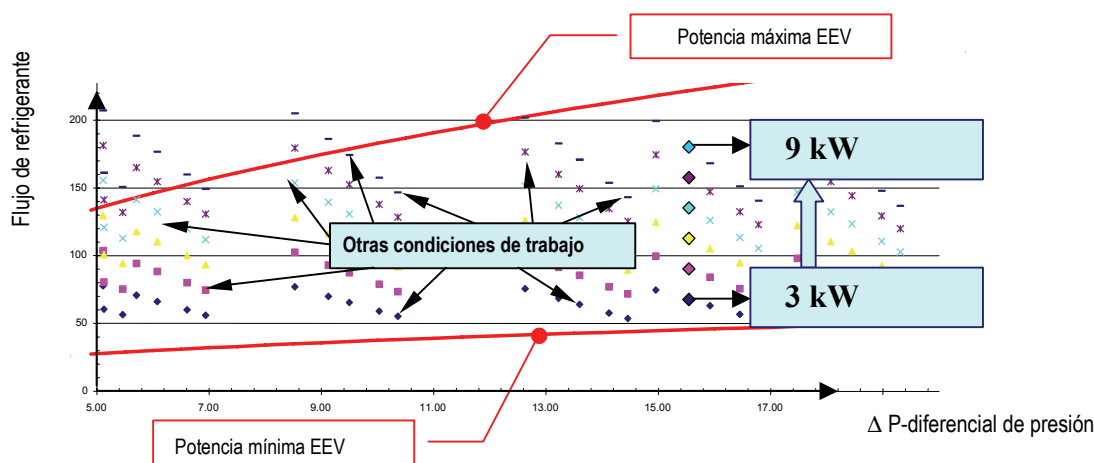
³⁵ Por ejemplo la E²V modelo E²V-18 cubre compresores de tallas desde 5kW a 14kW en acondicionamiento con R22 (Te=7°C y Tc=54°C), desde 4kW a 13kW en refrigeración con R22 (Te=-23°C y Tc=38°C) y de 2kW a 7kW con R404a (Te=-23°C y Tc=38°C).



Rango de regulación

- Una EEV (válvula electrónica) permite asumir el rango de los compresores que están sobredimensionados de acuerdo con las condiciones nominales de proyecto, en un rango extremadamente variable de las condiciones operativas. El dimensionado de una TEV está estrechamente ligado a la unidad que debe servir y a las condiciones de proyecto de dicha unidad. Cuando los elementos de la unidad son dimensionados adecuadamente (evaporador, etc.), las condiciones de trabajo de la unidad son estables la válvula no sufrirá ni sobredimensionamiento ni subdimensionamiento.

El siguiente gráfico, obtenido utilizando una válvula de la familia CAREL E²V como ejemplo, ilustra las características y los beneficios arriba descritos. Sobre las abscisas se indica el ΔP de trabajo de la válvula de expansión³⁶. Sobre las ordenadas se indica el flujo de refrigerante (R22) en kg/h: este valor indica tanto la potencia mínima y máxima de la válvula (línea roja) como el rendimiento de los compresores (puntos de diversos colores).



Sobre el gráfico han sido trazados los rendimientos de varios compresores (desde 3 a 9 Kw., en condiciones nominales para el acondicionamiento³⁷); los puntos de mayor tamaño representan las condiciones nominales.

Del diagrama se desprende que la válvula examinada CAREL E²V-14) permite gestionar correctamente los compresores representados virtualmente en cada condición operativa.

Las consideraciones hechas obviamente son extensibles, también a otras EEV a condición que el rango de regulación sea efectivamente tan extenso como el posible CAREL E²V.

→ **Ningún inconveniente para distintas zonas climáticas, temperaturas de trabajo, variación del punto de consigna de trabajo,.....**

→ Aplicaciones particulares, como en la industria alimentaria exigen la utilización de unidades frigoríficas en situaciones operativas extremadamente diferentes, debido a las distintas condiciones de la temperatura de evaporación. Una regulación mediante una válvula convencional "TEV" comporta necesariamente la duplicidad de los circuitos frigoríficos, mientras que la tecnología EEV (válvula electrónica) reduce drásticamente la complejidad y el coste de las instalaciones, permitiendo trabajar en todas las condiciones previstas en los servicios de la instalación.

³⁶ En práctica el valor de la presión de condensación menos el de la presión de evaporación expresada en bares.

³⁷ Las consideraciones hechas valen también para aplicaciones en refrigeración.



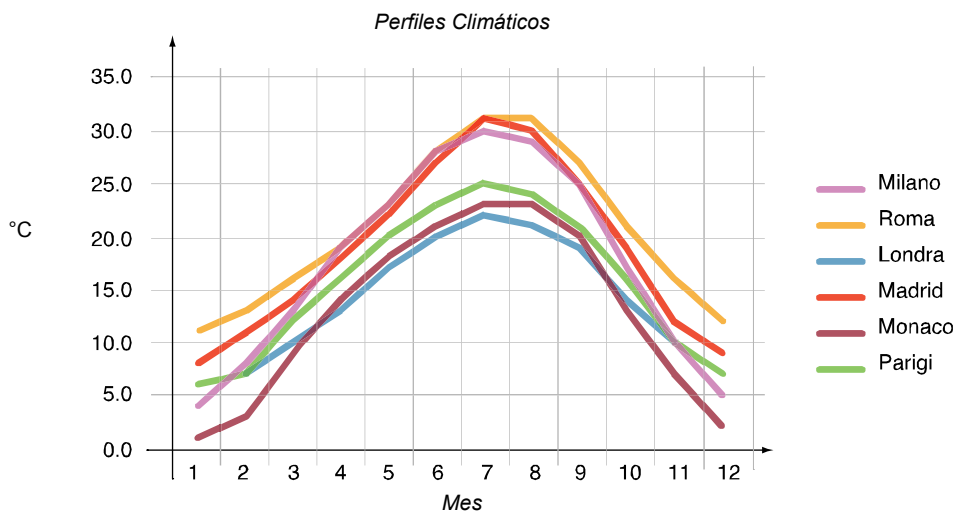
Ahorro energético

- Un apunte del punto precedente que merece una anotación particular es el funcionamiento de la unidad con presiones de condensación notablemente bajas: de hecho los únicos límites con una EEV son la ΔP mínima compatible con el compresor utilizado y la temperatura externa. Como se indicaba anteriormente una TEV normalmente solo puede trabajar en un entorno muy restringido de sus valores nominales y por consiguiente no es posible aprovechar las bajas temperaturas externas para aumentar la eficiencia de la unidad frigorífica.

→ Con la EEV es posible obtener **notables ahorros energéticos** por el aumento del rendimiento medio anual del compresor (hasta un 25%³⁸). En efecto, es previsible, un aumento de la eficiencia del compresor del orden del 2% por grado °C de la temperatura de condensación de menos. Esto es porque el compresor que trabaja como todo-nada reduce el tiempo de ON, mientras que el parcializado o el regulado con inverter, asume un régimen de funcionamiento menor a la paridad del rendimiento.

Merecen una relevancia particular los usos de la tecnología EEV en **unidades frigoríficas de tipo tecnológico (enfriamiento de moldes, acondicionadores de precisión,...)** y en **supermercados o grandes volúmenes refrigerados** de almacenes de productos alimentarios u otros; en estas instalaciones el ahorro energético obtenido es verdaderamente notable, y muy interesante, seguro, para el cliente final, aunque también lo es para el constructor/instalador de la instalación, ya que puede proponer soluciones altamente innovadoras.

A título de ejemplo se indica el perfil climático de varias ciudades europeas; los periodos que permitirían trabajar con temperaturas de condensación particularmente bajas, son bastante extensos, incluso en ciudades consideradas tradicionalmente como "calientes", esto confirma que el ahorro energético con la tecnología de regulación EEV puede ser muy relevante.



³⁸ Un ahorro del 25% es una estimación verosímil para unidades de acondicionamiento y refrigeración en funcionamiento durante todo el año en regímenes climáticos templados. Para unidades en funcionamiento estacional (por ejemplo; enfriadora para uso civil) el ahorro energético es inferior, pero, igualmente interesante.

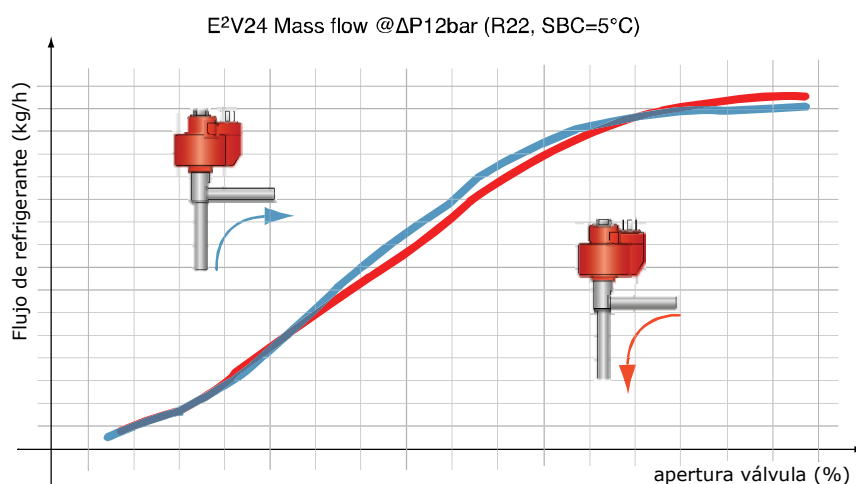


2. Precisión de regulación del refrigerante

La característica mecánica de la EEV de permitir una amplia gama de regulación (en los mejores modelos del tipo proporcional), es debida a la gran carrera del orificio de regulación y que puede llegar a la décima de milímetro; se habla, por tanto, de una regulación mucho más precisa que las mejores válvulas tradicionales TEV.

La regulación del flujo del refrigerante se beneficia de la notable resolución y precisión; en todas las instalaciones frigoríficas, ya sean en el mercado del acondicionamiento o en el de refrigeración, la obtención de una regulación del recalentamiento³⁹ más estable es, cuando es oportuno, a un valor más bajo respecto a una TEV, sin ninguna duda, una ventaja importante.

Un merito aparte, es el hecho de que es una válvula bidireccional, lo que permite suministrar el líquido refrigerante con una característica lineal respecto a la abertura, en ambos sentidos; seguidamente mostramos el diagrama experimental de una EEV CAREL tipo E²V-24.



Resulta evidente la casi perfecta linealidad del caudal, independientemente de la apertura de la válvula.

Analizando en detalle las posibilidades ofrecidas por una precisa modulación del refrigerante para la regulación del recalentamiento, se indican a continuación los aspectos mas destacados.

2.1 Ventajas consiguientes

Recalentamiento estable (SH)

- La regulación del recalentamiento con una EEV, en la mayor parte de los casos, es mucho más estable y controlada que con una TEV; el punto de consigna se mantiene al variar las condiciones de trabajo en el cambio estacional o del régimen de la unidad frigorífica.

→ Potencia frigorífica de la unidad constante y con rápida estabilización después del arranque., No es necesario corregir el punto de consigna al variar las condiciones del entorno.

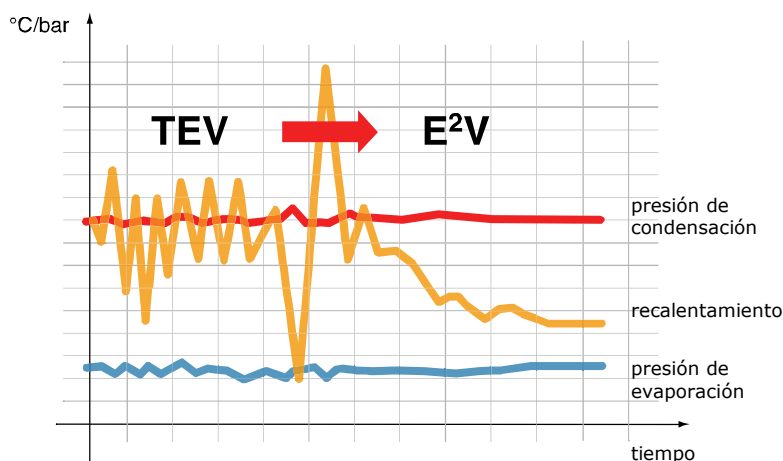
³⁹ Recalentamiento es la diferencia entre la temperatura termométrica y la manométrica en la salida del evaporador.



Recalentamiento bajo (SH)

- Más allá de la estabilidad, es posible contar con una reducción del recalentamiento reduciendo el punto de consigna al valor deseado: esta posibilidad de la regulación con EEV no aporta consigo el peligro de "pendulación" (o hunting) típico de una TEV.

En el gráfico representado se nota el efecto de una conmutación "en caliente" entre una unidad de enfriamiento de agua con TEV y E²V: la bajada del valor medio del recalentamiento, la estabilidad de la misma y los rendimientos de trabajo son evidentes.

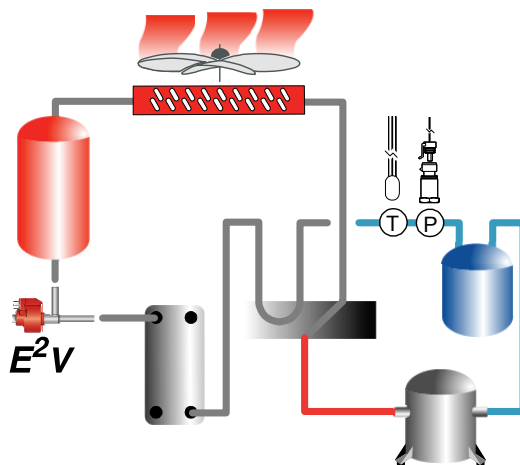


→ La reducción del punto de consigna del recalentamiento ha tenido como consecuencia el aumento del rendimiento frigorífico de la unidad por el consiguiente aumento de la presión de evaporación y por el mejor aprovechamiento de la superficie de intercambio del evaporador⁴⁰.

Bidireccional

- Si utilizamos una EEV bidireccional (como la E²V CAREL), en una bomba de calor reversible es posible instalar una sola válvula de expansión EEV en lugar de las dos TEV en las soluciones tradicionales.

→ El caso de la bomba de calor reversible es particularmente indicado para la utilización de una EEV, por cuanto, a parte de todas las ventajas comunes a todas las aplicaciones, en las bombas de calor son más evidentes los beneficios económicos y técnicos, ya que es posible una reducción de precios al no tener que instalar una segunda válvula y por la simplificación del circuito frigorífico.



⁴⁰ El valor de este aumento es porcentualmente no relevante cuando el punto de consigna es inferior a 5°C y es por tanto preferible, excepto en casos particulares, ajustar un punto de consigna superior a 4°C obteniendo una regulación más estable.



3. Regulación mediante microprocesador

El hecho de que una válvula electrónica sea pilotada mediante un microprocesador que funciona ya sea como generador de la secuencia de los pasos (o step) que interpreta, que da inteligencia, que decide la necesidad actual de refrigerante en el evaporador, podría parecer una consideración obvia e intrínseca al hecho de que la válvula en cuestión, es electrónica.

En realidad, las posibilidades ofrecidas por el hecho que la EEV se posiciona solo y exclusivamente donde ha sido decidido por el control van mas allá de la simple regulación del recalentamiento como ofrece la tecnología tradicional a TEV: en estos términos la frase anterior sería correcta con "...inteligencia que decide la necesidad **actual y oportuna** de refrigerante...".

Esto significa que no es que limitarse al uso solamente del valor del recalentamiento como señal de regulación sea la mejor selección: rutinas de control tales como el MOP (Maximun Operating Pressure / Presión Máxima de Operación) y LOP (Lowest Operating Pressure / Presión de Operación mas Baja), son las primeras en las que podría pensar, pero existen otras muchas posibles con un control a microprocesador. En todos los casos las mismas funciones son notablemente mejorables con una EEV respecto a aun TEV. Además, la posibilidad de imponer a la EEV una posición deseada deja abierta la posibilidad a múltiples aplicaciones de la tecnología aquí descrita, personalizable a placer según las exigencias técnicas del caso: doble consigna, procedimientos particulares de arranque o paro, situaciones específicas como evaporadores inundados, etc.

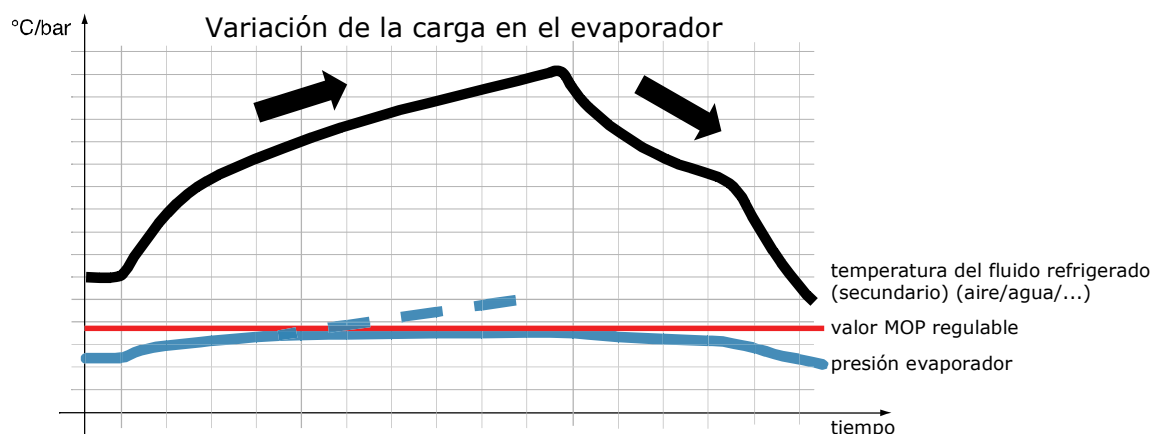
De hecho no existe limite a las posibles evoluciones del software de regulación.

Se relacionan a continuación las características relativas al software de regulación implementado en los controladores CAREL de ultima generación, disponibles para el mercado de la refrigeración y del acondicionamiento en versión sistémica avanzada (pLAN y red local), stand- alone (autónoma) y built-in (implementada).

3.1 Ventajas consiguientes

MOP (Máxima Presión de Funcionamiento)

- La función MOP limita la presión alta de evaporación, cuyo valor es controlado mediante la sonda de presión y leída directamente su valor por del EV Driver para poder efectuar el calculo del recalentamiento. La rutina de regulación es configurable en términos de salida y de ganancia o energía de intervención y mantiene la presión por debajo o a la par al valor introducido en el parámetro, de una forma precisa y estable, como se indica en el diagrama siguiente.



La acción típica de este control se manifiesta con el cierre progresivo de la válvula de expansión, para mantener la presión de evaporación; esto comporta de manera intrínseca un aumento del recalentamiento y de la temperatura del gas en la salida del evaporador (o temperatura del gas sobrecalentado o en aspiración).

Una acción descontrolada puede llevar a valores peligrosos para la vida del compresor y por este motivo debemos de tener un limite del valor máximo del gas recalentado; esta función esta incluida en los algoritmos de regulación CAREL, consiguiendo una funcionalidad y seguridad sin precedentes.

→ Partiendo con cargas elevadas en el evaporador con total seguridad para el compresor; se evitan peligrosos valores elevados de la presión de evaporación.

→ Regulación "suave" y precisa de la presión de evaporación, sin saltos o discontinua.



LOP (Mínima presión de funcionamiento)

- Al igual que la función MOP, el LOP mantiene la presión de evaporación por encima de una consigna ajustable con una ganancia ajustable: si de una forma t en las condiciones operativas o un punto de consigna de sobrecalentamiento excesivo, o cualquier otro fenómeno llevara la presión a valores excesivamente bajos, la rutina del control actuaría abriendo de modo progresivo y finamente controlada la válvula de expansión.

De todas formas esto no debe entenderse como "regulación" en el estricto sentido; se trata esencialmente de la gestión de un estado transitorio.

Además, dado que la acción determinaría la apertura de la válvula existiría en caso de ausencia de limitación la posibilidad de una apertura excesiva de la válvula y perjudicar la seguridad del compresor con retorno de líquido: la rutina de LOP ha sido dotada de una seguridad intrínseca que previene la apertura de la válvula en caso de valores demasiado bajos del recalentamiento.

HITcond (Alta Temperatura de Condensación)

- La especial función del Hitcond, patentada por CAREL, permite compensar aumentos temporales de la presión/temperatura de condensación mediante la limitación de la potencia del compresor a través de la válvula EEV.

En la práctica lo que se realiza es un cierre controlado de la válvula de expansión con el fin de obtener una reducción del flujo refrigerante: esto comporta una reducción de la potencia frigorífica en el evaporador, por lo que el calor que deberemos disipar en el condensador será menor, con la consiguiente reducción de la temperatura de condensación.

→ Las unidades de acondicionamiento tecnológico (por ejemplo del tipo Shelter), son dobles con el fin de evitar la falta del servicio en el supuesto del bloqueo de una de las unidades: en el caso de elevadas temperaturas externas es posible que las dos unidades les salte el presostato de alta presión. Utilizando la rutina HiTcon es posible evitar este inconveniente asegurando un servicio continuado.

→ Todo lo expuesto anteriormente es válido también para otras aplicaciones, particularmente aquellas que no disponen de otro modo para reducir la potencia frigorífica, como la parcialización en compresores de tornillo, inverter y otros.

Low noise (Bajo ruido)

- Una particularidad en la modalidad de funcionamiento de la válvula electrónica de expansión consiste en la posibilidad de funcionar sub-alimentando de forma voluntaria el evaporador y por consiguiente el compresor.

Esto comporta, como hemos visto en el funcionamiento de la rutina HiTcond, una reducción de la carga térmica a disipar en el condensador, que podrá funcionar, con menos ventiladores o con velocidades bajas lo que nos reducirá notablemente la rumorosidad, esta consideración, asociada al hecho que la temperatura externa durante la noche es inferior a la diurna, permite la aplicación de esta función en todas las instalaciones con problemas de rumorosidad en la unidad condensadora.

Por otro lado, en la mayor parte de los casos una baja temperatura externa comporta una necesaria reducción de la potencia frigorífica (por ejemplo por ausencia de radiación) y por tanto una reducción de la potencia frigorífica como anteriormente indicada no crea problemas de falta de servicio.

Obviamente cuando se opera en esta modalidad no está asociado un reducido consumo energético: la tecnología de la EEV permite "pilotar" a placer el régimen de funcionamiento de las unidades frigoríficas y el usuario propenso a un funcionamiento Low Noise (Bajo Ruido) en régimen nocturno es probablemente más sensible al ruido que a la no alta eficiencia obtenible en las mismas condiciones.

→ Todas las unidades frigoríficas pueden utilizar esta función, pero las unidades de acondicionamiento para centrales de telefonía, puestos de radio GSM o UMTS, salas de ordenadores, etc., son particularmente favorecidas por esta posibilidad, dada la proximidad de estos centros con núcleos habitados.

Divulging, modifying, translating and/or reproducing this document, in part or in full, is prohibited without the written authorisation of CAREL S.p.A.

È proibito divulgare, modificare, tradurre e/o riprodurre questo documento, in tutto o in parte, senza autorizzazione scritta di CAREL S.p.A.

Il est interdit de divulguer, modifier, traduire et/ou reproduire ce document, totalement ou en partie, sans l'autorisation écrite de CAREL S.p.A.

Die Verbreitung, Änderung, Übersetzung und/oder vollständige oder partielle Wiedergabe dieses Dokuments ist ohne schriftliche Ermächtigung von CAREL S.p.A. untersagt.

Queda prohibida la divulgación, modificación, traducción y/o reproducción de este documento total o parcialmente, si la autorización expresa por escrito de CAREL S.p.A.



CAREL S.P.A.

Via dell'Industria, 11 - 35020 Brugine - Padova (Italy)
Tel. (+39) 049.9716611 Fax (+39) 049.9716600
<http://www.carel.com> - e-mail: carel@carel.com

