

DRIVE WITH ROTATIVE SPEED INDEPENDENT FROM THE ENGINE OF THE PRESSURE WAVE COMPRESSORS

ANTRENAREA CU TURAȚIE INDEPENDENTĂ DE MOTOR A COMPRESOARELOR CU UNDE DE PRESIUNE

Cristian-Ioan LEAHU, Horia ABĂITĂNCEI, Sebastian RADU

Transilvania University of Brasov, Romania

Abstract. With a view to achieving internal combustion engines as economical and less polluting as possible, in this paper a new configuration for the driving system of the pressure wave supercharging compressors is submitted.

A new driving system is absolutely necessary, as the currently used system, which requires a rotative speed of the compressor in direct proportion with the one of the crankshaft, constitutes a major impediment in the reach of maximum efficiency by the compressor. This probable performance level may exceed even the one of the turbocharger, the latter being nowadays the most widely used supercharging compressor.

Key words: internal combustion engine, compressor, supercharging, driving system

1. Introduction

In general, the current trend of the automotives manufactures worldwide is to achieve internal combustion engines of the highest possible economical and ecological performance. In this context, supercharging compressors have acquired special importance, due to the positive influence that the supercharging process has on the performance of the internal combustion engines. [1]

Over time, manifold constructive solutions of the supercharging compressors have been developed and have proved both their performance and their limitations. [2]

An efficient supercharging compressor, which holds another potential that has not been exploited yet at the most is the *pressure wave compressor*. In supercharging automotives engines, there were widely used the pressure wave compressors of the type Comprex (in compression ignition engines) and Hyprex (in spark ignition engines).

The limitation of the pressure wave compressor, which consists in the difficulty of optimizing its joint operation with the supercharged engine, is mainly caused by its driving system; because of it, the compressor is forced to constantly hold a rotative speed proportional to the one of the internal combustion engine.

Given the aforementioned, in this paper there

Rezumat. În vederea realizării de motoare cu ardere internă cât mai economice și mai puțin poluante, în lucrarea de față se propune o nouă configurație a sistemului de antrenare a compresoarelor de supraalimentare, cu unde de presiune.

De un nou sistem de antrenare este absolut nevoie, deoarece sistemul utilizat în prezent, ce presupune o turație a compresorului proporțională cu cea a arborelui cotit, constituie impedimentul major în atingerea de către compresor a eficienței maxime. Acest nivel probabil de performanțe îl poate depăși chiar și pe cel al turbosufletei, aceasta fiind în prezent cel mai utilizat compresor de supraalimentare.

Cuvinte cheie: motor cu ardere internă, compresor, supraalimentare, sistem de antrenare

1. Introducere

În general, tendința actuală a constructorilor de automobile din lume este de a realiza motoare cu ardere internă care să dețină performanțe economice și ecologice cât mai ridicate. În acest context, compresoarele de supraalimentare au căpătat o importanță deosebită, datorită influenței pozitive pe care procesul de supraalimentare îl are asupra performanțelor motoarelor cu ardere internă. [1]

De-a lungul timpului s-au dezvoltat numeroase soluții constructive ale compresoarelor de supraalimentare, acestea arătându-și în timp atât performanțele, cât și limitele. [2]

Un compresor de supraalimentare performant, care mai deține încă un potențial care nu a fost exploatat la maxim, este *compresorul cu unde de presiune*. La supraalimentarea motoarelor de automobile s-a utilizat pe scară largă compresoarele cu unde de presiune de tip Comprex (la motoarele cu aprindere prin comprimare) și Hyprex (la motoarele cu aprindere prin scânteie).

Limita compresorului cu unde de presiune, ce constă în dificultatea optimizării funcționării comune a acestuia cu motorul supraalimentat, se datorează în principal sistemului de antrenare; datorită acestuia, compresorul este constrâns să dețină în permanență o turație proporțională cu cea a motorului cu ardere internă.

Ținând cont de aceste considerente, în lucrarea

are submitted the constituency and the advantages of a new driving system for the pressure wave compressor, which consumes the energy necessary for driving the compressor not from the crankshaft, as it happens nowadays, but from a direct current motor of variable rotative speed.

2. Construction and operation of the pressure wave compressor

The pressure wave compressor consists of a rotor traversed along its entire length by one or two rows of channels. The rotor is mounted in a housing and is bordered by two stators, a warm one, whereby the exhaust gases pass and a cold one, whereby the intake air passes. In Figure 1, the main components of a pressure wave compressor are shown.



Figure 1. Components of a Comprex type pressure wave compressor: a. rotor; b. warm stator; c. cold stator
 Figura 1. Componentele unui compresor cu unde de presiune de tip Comprex: a. rotor; b. stator cald; c. stator rece

In general, in constructing pressure wave compressors, there are used materials of nickel alloy (rotor and housing), malleable cast iron (warm stator) and aluminum alloy (cold stator).

Pressure wave compressors are currently driven by the crankshaft via a belt, with a *constant ratio of the rotative speeds compressor/internal combustion engine*. By rotor turning, the channels pass both in front of the exhaust gas intake and outlet windows (positioned in the warm stator), as well as in front of the air intake and outlet windows (positioned in the cold stator). In the channels of the compressor, the fresh air makes direct contact with the gases evacuated by the engine. The fresh air partially takes the energy of the exhaust gases, hence the pressure rise of the intake air is eventually obtained. [2, 3]

de față se prezintă componența și avantajele unui nou sistem de antrenare al compresorului cu unde de presiune, care consumă energia necesară antrenării compresorului nu de la arborele cotit, așa cum se întâmplă în prezent, ci de la un motor electric de curent continuu cu turație variabilă.

2. Construcția și funcționarea compresorului cu unde de presiune

Compresorul cu unde de presiune este compus dintr-un rotor străbătut pe toată lungimea de unul sau două rânduri de canale. Rotorul este montat într-o carcasă și este mărginit de două statoare, unul cald prin care trec gazele de evacuare și unul rece prin care trece aerul de admisie. În Figura 1 se prezintă principalele componente ale unui compresor cu unde de presiune.

În general, la construcția compresoarelor cu unde de presiune sunt utilizate materiale din aliaj de nichel (rotor și carcasă), fontă maleabilă (stator cald) și aliaj de aluminiu (stator rece).

Compresoarele cu unde de presiune în prezent sunt antrenate de către arborele cotit prin intermediul unei curele, cu un *raport constant al turațiilor compresor/motor cu ardere internă*. Prin învârtirea rotorului, canalele trec atât prin dreptul ferestrelor de admisie și evacuare a gazelor arse (poziționate în statorul cald), cât și prin dreptul ferestrelor de admisie și evacuare a aerului (poziționate în statorul rece). În canalele compresorului, aerul proaspăt intră în contact direct cu gazele evacuate de motor. Aerul proaspăt preia o parte din energia gazelor de evacuare, astfel că se obține în final o creștere de presiune a aerului de admisie. [2, 3]

The time in which the air is in direct contact with the exhaust gases constitutes a decisive factor on which the performance level of the pressure wave compressor depends. Given the relatively wide area wherein the exhaust gas flow may vary (its value influencing the propagation speed of the pressure waves in the channels of the rotor), it can be said that, except geometrical dimensions, the driving rotative speed of the pressure wave compressor is the only parameter through whose variation the period wherein the two fluids are in direct contact is modified. [4]

However, because of the driving from the crankshaft, the value of the driving rotative speed of the compressor completely depends on the rotative speed of the internal combustion engine, and not on the level of the supercharging pressure, as it should.

Therefore, a new driving system must be configured that should be characterized by a higher degree of flexibility. Thus, by driving the pressure wave compressor, at adequate rotative speed, in the framework of every operating mode of the internal combustion engine, a high supercharging pressure might be ensured.

3. Configuration of the new driving system for the pressure wave compressor

So that the performance of the pressure wave compressor should be situated at a high level on the entire operating range of the internal combustion engine, this compressor must be driven with rotative speed independent from the one of the supercharged engine. [5]

This driving solution falls into the tendency of the engine manufacturers to drive the ancillary equipment of the internal combustion engine, independently of the latter. Such a situation is encountered, for energy-saving reasons, in the case of the servo-steering and cooling-liquid pumps. [6]

In the case of the pressure wave compressor, the currently used driving system must be replaced, for reasons of performance, with a flexible system that should provide the compressor with the possibility to hold any value of the rotative speed, independently of the rotative speed regime in which the supercharged regime operates. In this respect, due to the fact that the energy consumed in order to drive the compressor is reduced, the rotor only having the purpose of distributing the working fluids instead of compressing them, the proposal is advanced for this compressor to be driven by a direct current motor, whose rotative speed should be modified by an electronic-control system.

Timpul în care aerul se află în contact direct cu gazele de evacuare reprezintă un factor decisiv de care depinde nivelul de performanță al compresorului cu unde de presiune. Ținând cont de domeniul relativ larg în care poate varia debitul gazelor de evacuare (valoarea acestuia influențând viteza de propagare a undelor de presiune în canalele rotorului), se poate afirma faptul că, exceptând dimensiunile geometrice, turația de antrenare a compresorului cu unde de presiune reprezintă singurul parametru prin a cărui variație se modifică perioada în care cele două fluide se află în contact direct. [4]

Însă, datorită antrenării de la arborele cotit, valoarea turației de antrenare a compresorului depinde în totalitate de turația motorului cu ardere internă și nu de nivelul presiunii de supraalimentare, așa cum ar trebui.

Din aceste considerente trebuie configurat un nou sistem de antrenare care să fie caracterizat de un grad mărit de flexibilitate. Astfel, prin antrenarea cu o turație corespunzătoare a compresorului cu unde de presiune s-ar asigura în cadrul fiecărui regim de funcționare a motorului cu ardere internă o presiune de supraalimentare ridicată.

3. Configurația noului sistem de antrenare a compresorului cu unde de presiune

Pentru ca performanțele compresorului cu unde de presiune să se situeze la un nivel ridicat pe toată gama de funcționare a motorului cu ardere internă, acesta trebuie să fie antrenat cu o turație independentă de cea a motorului supraalimentat. [5]

Această soluție de antrenare se înscrie în tendința producătorilor de motoare de a antrena echipamentele auxiliare ale motorului cu ardere internă, independent de acesta. O astfel de situație este întâlnită, din considerente de economisire a energiei, în cazul pompei de servodirecție și a pompei de lichid de răcire. [6]

În cazul compresorului cu unde de presiune, sistemul de antrenare utilizat în prezent trebuie înlocuit, din considerente de performanță, cu un sistem flexibil care să confere posibilitatea compresorului să dețină orice valoare a turației indiferent de regimul de turație la care funcționează motorul supraalimentat. În acest sens, datorită faptului că energia consumată pentru acționarea compresorului este redusă, rotorul având doar scopul de distribuire a fluidelor de lucru și nu de comprimare a lor, se propune ca acest compresor să fie antrenat de un motor electric de curent continuu a cărui turație să fie modificată de un sistem de control electronic.

In Figure 2 there are shown the schemes of the driving systems with dependent rotative speed n (classical variant), respectively independent from the one of the crankshaft (new variant).

În Figura 2 se prezintă schemele sistemelor de antrenare cu turație n dependentă (varianta clasică), respectiv independentă de cea a arborelui cotit (varianta nouă).

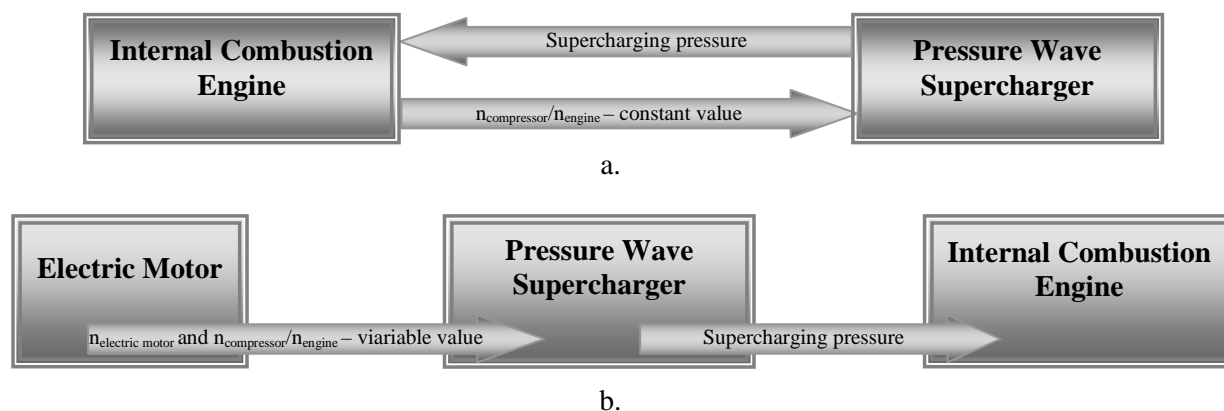


Figure 2. Scheme of the driving system for the pressure wave compressors: a. classical variant; b. new variant
 Figura 2. Schema sistemului de antrenare a compresoarelor cu unde de presiune: a. varianta clasică; b. varianta nouă

The application of this new solution for driving the compressor will not generate difficulties in building and mounting the internal combustion engine and its ancillary equipment. Conversely, if we refer to the placement of the pressure wave compressor, this one will be facilitated by the driving solution of the electric motor; in this case, the position restrictions due to the driving system of the crankshaft are no longer imposed.

Aplicarea acestei noi soluții de antrenare a compresorului, nu va genera dificultăți de construcție și amplasare a motorului cu ardere internă și a echipamentelor auxiliare ale acestuia. Dimpotrivă, dacă ne referim la amplasarea compresorului cu unde de presiune, aceasta va fi facilitată de soluția antrenării de la motorul electric; în acest caz ne mai fiind impuse restricțiile de poziție datorate sistemului de antrenare de la arborele cotit.

4. Experimental test of the flexible system for driving the pressure wave compressor

The experimental test of the new system for driving the pressure-wave compressor was conducted on a supercharged compression ignition engine with a Comprex. [4]

The engine was supercharged with the Comprex successively driven with the two systems shown in Figure 2, with a view to comparing the performances of the supercharging process obtained as a consequence of having applied each driving solution.

In general, *in the case of the classical drive*, the transmission ratio of the torque from the crankshaft to the compressor, beside the value of the supercharging pressure, must consider both the value of the nominal rotative speed of the supercharged engine (influencing the maximum rotative speed tolerated by the compressor), and the minimal rotative speed for the operation of the internal combustion engine, knowing that too low a rotative speed of the compressor will allow burnt gases to pass through the entire length of the rotor

4. Încercarea experimentală a sistemului flexibil de antrenare a compresorului cu unde de presiune

Încercarea experimentală a noului sistem de antrenare a compresorului cu unde de presiune s-a desfășurat pe un motor cu aprindere prin comprimare supraalimentat cu un Comprex. [4]

Motorul a fost supraalimentat cu Comprex-ul antrenat succesiv cu cele două sisteme prezentate în Figura 2, în scopul comparării performanțelor procesului de supraalimentare obținute în urma aplicării fiecărei soluții de antrenare.

În general, *în cazul antrenării clasice*, raportul de transmitere a cuplului de la arborele cotit la compresor, pe lângă valoarea presiunii de supraalimentare, trebuie să țină cont atât de valoarea turației nominale a motorului supraalimentat (aceasta influențând turația maximă la care compresorul suportă să fie antrenat), cât și de turația minimă la care funcționează motorul cu ardere internă, știut fiind faptul că o turație prea mică a compresorului va permite gazelor arse să tranziteze întreaga lungime a canalelor rotorului și implicit să

channels and, implicitly, to enter the intake manifold, contaminating thereby the admission air.

Therefore, the constant ratio (rc) of the rotative speeds compressor/internal combustion engine had the value 7 ($rc = 7$), which ensured an operation of the Comprex at rotative speeds ranging between 5600-18200 [rpm].

In the case of a new driving solution, which supposes a variable ratio (rv) of the rotative speeds compressor/engine (Figure 3), the compressor was driven with rotative speeds ranging between 7000-18000 rpm. At each operating mode of the compression ignition engine, the Comprex was driven at the rotative speed having conferred the maximum value of the supercharging pressure.

intre în colectorul de admisie al motorului, contaminând astfel aerul de admisie.

Din aceste considerente, raportul constant (rc) al turațiilor compresor/motor cu ardere internă a avut valoarea 7 ($rc = 7$), ceea ce a asigurat o funcționare a Comprex-ului la turații cuprinse între 5600-18200 [rpm].

În cazul noii soluții de antrenare, ce presupune un raport variabil (rv) al turațiilor compresor/motor cu ardere internă (Figura 3), compresorul a fost antrenat cu turații cuprinse în intervalul 7000-18000 rot/min. La fiecare regim de funcționare a motorului cu aprindere prin comprimare, Comprex-ul a fost antrenat la turația ce a conferit valoarea maximă a presiunii de supraalimentare.

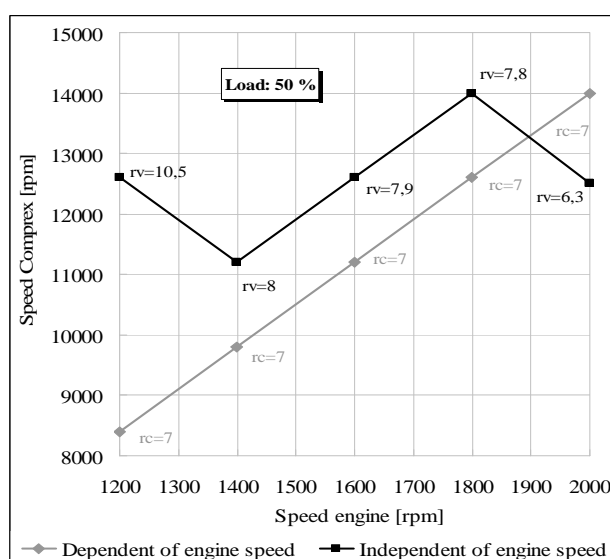
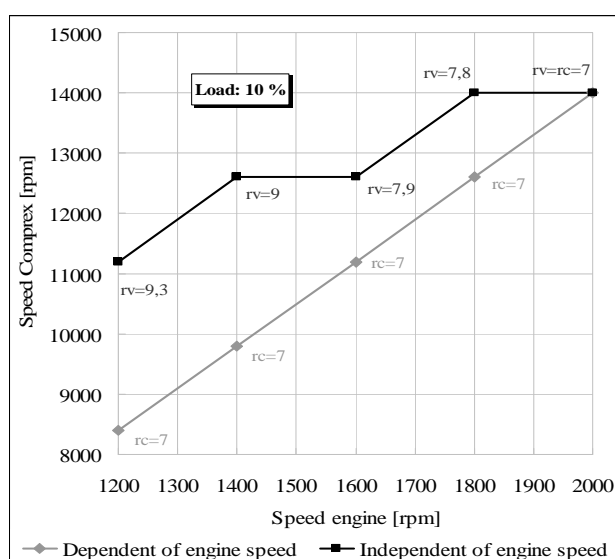


Figure 3. Values of the rotative speed ratio compressor/engine, in the framework of the two driving systems
 Figura 3. Valorile raportului turațiilor compresor/motor cu ardere internă, în cadrul celor două sisteme de antrenare

After driving the compressor with the rotative speeds that observe the evolution of the variable ratio (rv) shown in Figure 3, the level of the intake pressure was modified according to the level obtained after driving the compressor with rotative speeds resulted from the constant ratio (rc). The degree of change in the intake pressure at various charges and rotative speeds of the compression ignition engine is shown in Figure 4.

In Figure 4 one can notice that the supercharging process obtained in case of driving the Comprex with a rotative speed independent from the one of the compression ignition engine is more efficient than the one obtained in the case of the classical driving variant. The highest increases of the intake pressure, up to 12%, are obtained at low-medium rotative speeds of the supercharged engine, they being the most used in operating

În urma antrenării compresorului cu turațiile care respectă evoluția raportului variabil (rv) reprezentată în Figura 3, nivelul presiunii de admisie s-a modificat în raport cu nivelul obținut în urma antrenării compresorului cu turații rezultate din raportul constant (rc). Gradul de modificare a presiunii de admisie, la diferite sarcini și turații ale motorului cu aprindere prin comprimare, este prezentat în Figura 4.

În Figura 4 se observă că procesul de supraalimentare obținut în cazul antrenării Comprex-ului cu o turație independentă de cea a motorului cu aprindere prin comprimare este mai performant decât cel obținut în cazul variantei de antrenare clasice. Cele mai mari creșteri ale presiunii de admisie, de până la 12%, se obțin la turații mici-medii ale motorului supraalimentat, acestea fiind și cele mai utilizate în exploatarea

automotives. At medium-high rotative speeds of the compression ignition engine, the rise of the intake pressure does not exceed the value of 5% in case of low charges and 1% in case of medium charges.

automobilelor. La turații medii-mari ale motorului cu aprindere prin comprimare, creșterea presiunii de admisie nu depășește valoarea de 5% în cazul sarcinilor mici și 1% în cazul sarcinilor medii.

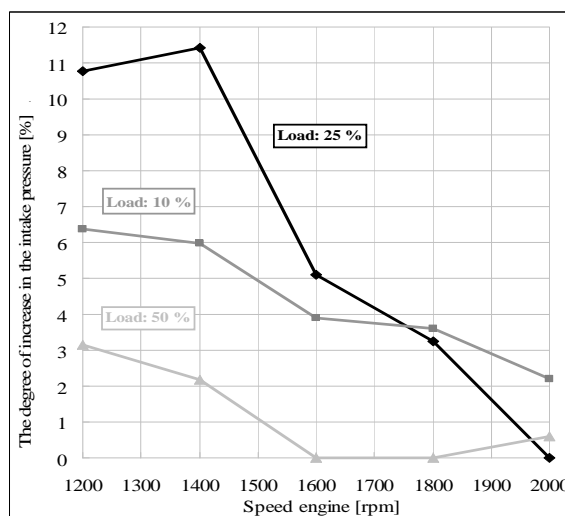


Figure 4. Increase of the intake pressure, due to driving the Compres from an electric motor
 Figura 4. Creșterea presiunii de admisie, datorată antrenării Compres-ului de la un motor electric

In experimental tests, the energy consumption necessary for driving the Compres was determined. Resorting to a measuring apparatus, the current intensity in the electric motor was established, the measured value was multiplied by the known value of the voltage, eventually resulting the power consumed by the electric motor for driving the Compres. These measurements (conducted at various speeds and operating modes of the Compres, respectively of the compression ignition engine) showed that in all cases the power consumption due to driving the Compres is below 350 W. These values are acceptable, given that they are comparable to those of the users of lighting and heating systems for automobiles.

All these aspects confirm that the solution of driving the Compres from the crankshaft confers high efficiency upon the compressor only within a limited range of charges and rotative speeds of the compression ignition engine. In the case of the experimentally researched engine, this range coincides with the area of the medium-high rotative speeds and charges, where the increase degree in of the intake pressure has the lowest values.

4. Conclusion

The use of the electric motors with variable rotative speed for driving the Compres or Hypres-type pressure wave compressors, proves to be a solution that might lead to a sometimes significant

În cadrul încercărilor experimentale s-a determinat și consumul de energie necesar antrenării Compres-ului. Cu ajutorul unui aparat de măsură s-a determinat intensitatea curentului în motorul electric, valoarea măsurată s-a înmulțit cu mărimea cunoscută a tensiunii electrice, rezultând în final puterea consumată de motorul electric la antrenarea Compres-ului. Aceste măsurători (pentru diverse turații și regimuri de funcționare a Compres-ului, respectiv motorului cu aprindere prin comprimare) au arătat faptul că în toate cazurile consumul de putere datorat antrenării Compres-ului este de sub 350 W. Aceste valori sunt acceptabile, ținând cont că sunt comparabile cu cele ale consumatorilor electrici ai sistemelor de iluminare și încălzire ale automobilelor.

Toate aceste aspecte confirmă faptul că soluția antrenării Compres-ului de la arborele cotit conferă compresorului o eficiență ridicată doar într-un domeniu restrâns de sarcini și turații ale motorului cu aprindere prin comprimare. În cazul motorului cercetat experimental acest domeniu coincide cu zona turațiilor și sarcinilor medii-mari, unde gradul de creștere a presiunii de admisie deține cele mai reduse valori.

4. Concluzii

Utilizarea motoarelor electrice cu turație variabilă la antrenarea compresoarelor cu unde de presiune de tip Compres sau Hypres, se dovedește a fi o soluție care poate conduce la o ameliorare,

improvement of the supercharged internal combustion engines.

In terms of construction, the use of the electric motor as transmission source of the torque to the pressure wave compressor will facilitate its placement on the internal combustion engine. Likewise, due to the relatively low values of the power necessary for driving the compressor (supposing small overall dimensions of the electric motor), the placement of the electric motor on the internal combustion engine will be easily achieved.

In the end, it can be mentioned that this innovative solution for driving the pressure wave compressors allows automotives manufacturers to determine the value of the rotative speed for driving the compressor (within each operating mode of the internal combustion engine), depending on the desired level of energetic and/or ecological performance of the supercharged engine.

uneori substanțială, a performanțelor motoarelor cu ardere internă supraalimentate.

Din punct de vedere constructiv, utilizarea motorului electric ca sursă de transmitere a cuplului la compresorul cu unde de presiune va facilita amplasarea acestuia din urmă pe motorul cu ardere internă. De asemenea, datorită valorilor relativ scăzute ale puterii necesare antrenării compresorului (ceea ce presupune dimensiuni reduse de gabarit ale motorului electric), amplasarea motorului electric pe motorul cu ardere internă nu se va realiza cu dificultate.

În final, se poate menționa că această soluție inovativă de antrenare a compresoarelor cu unde de presiune permite constructorilor de motoare să stabilească valoarea turației la care compresorul să fie antrenat (în cadrul fiecărui regim de funcționare a motorului cu ardere internă), în funcție de nivelul dorit de performanță energetică și/sau ecologică a motorului supraalimentat.

References

1. Grünwald, B. (1980) *Teoria, calculul și construcția motoarelor pentru autovehicule rutiere (The Theory, the Calculation and Construction of the Automotives Engines)*, Editura Didactică și Pedagogică, București, Romania (in Romanian)
2. Heisler, H. (1995) *Advanced Engine Technology*, SAE International, ISBN 1-56091-734-2, Warrendale, US
3. Gyarmathy, G. (1984) *How Does the Compres Pressure-Wave Supercharger Work?*, SAE Paper 830234
4. Leahu, C.I. (2011) *Optimizarea funcționării motoarelor cu aprindere prin comprimare cu agregatele de supraalimentare (Optimization of Compression Ignition Engine Using Supercharging Systems)*, PhD thesis, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania (in Romanian)
5. Hîrceagă, M., Radu, Gh.-Al. (2012) *Analiza factorilor de influență asupra turației optime de antrenare a unui compresor cu unde de presiune – CUP (Analysis of the Influencing Factors on the Optimal Driving Speed of a Pressure Wave Supercharger – PWS)*, *Ingenieria Automobilului*, ISSN 1842-4074, Vol. 6, no. 1 (march 2012), p. 14-15 (in Romanian)
6. http://www.conti-online.com/generator/www/com/en/continental/pressportal/themes/press_releases/3_automotive_group/powertrain/download/doc_2009_07_21_megatrend_environment_en.doc, Accessed: 17/12/2012

Received in January 2013

Lucrare primită în Ianuarie 2013