
MAȘINI SINCRONE SPECIALE

GENERATOR SINCRON CU POLI
GHEARĂ

Cerințe

Aplicația principală: **Alternator (generator) pentru auto**

Ele trebuie să genereze suficientă energie pentru toți consumatorii electrici și să echilibreze încărcarea bateriei.

Tensiune redusă: 6 sau 12 V

Tensiunea indusă:

Curent mare: 60 sau 100 A

$$U_e = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot w \cdot k_b \cdot \phi \cdot f$$

Înfășurarea indusă: câteva spire, conductor de secțiune mare

Fluxul magnetic fascicular ϕ mic din cauza suprafeței spirelor

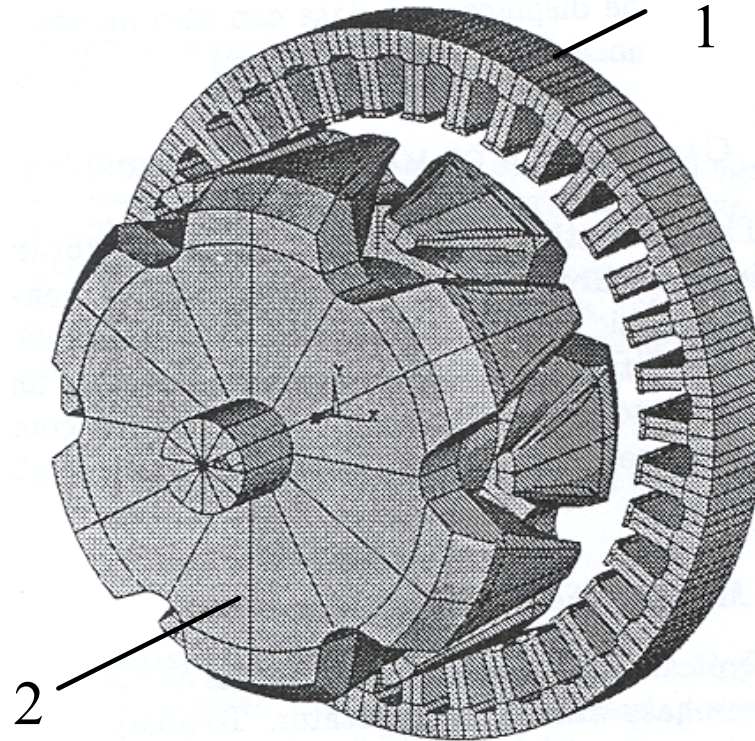
Numărul de perechi de poli relativ mare: $p_p = 6$

Turația variază: $n_{\min} = 900 \text{ r/min}$ $n_{\max} = 7000 \text{ r/min}$

Frecvența tensiunii induse ridicată

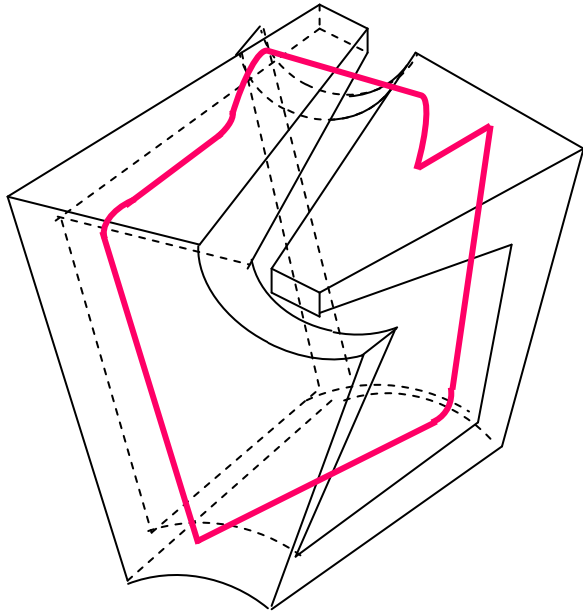
$$f = p_p \cdot n = p_p \cdot \frac{n}{60} = 6 \cdot \frac{900 \div 7000}{60} = 90 \div 700 \text{ Hz}$$

Structura mașinilor sincrone cu poli gheară



Structura unui generator sincron cu rotor cu poli gheară;
1 – miezul statoric, 2 – miezul rotoric

Structura mașinilor sincrone cu poli gheară

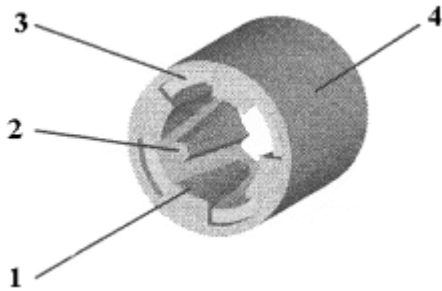


Calea de flux principală în structura cu poli gheară, reprezentare simplificată

De ce ghiară ?

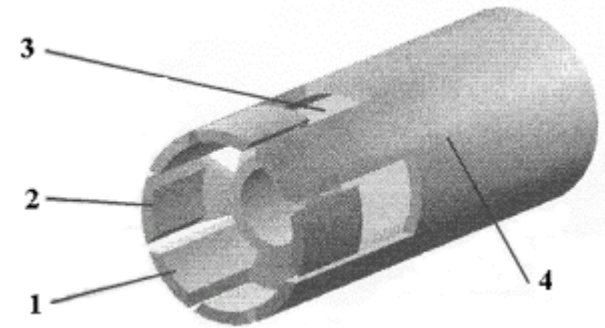
- Se folosește o singură înfășurare de excitație
- fluxul spre vârf se micșorează, la $B = ct.$ secțiunea se reduce
- Distanța dintre poli se poate mări, se reduce fluxul de scăpări
- Suprafața spre întrefier a polilor fiind variabilă, conținutul de armonici al t.e.m. indusă este mai redus.

Diferite structuri de armături cu poli gheară

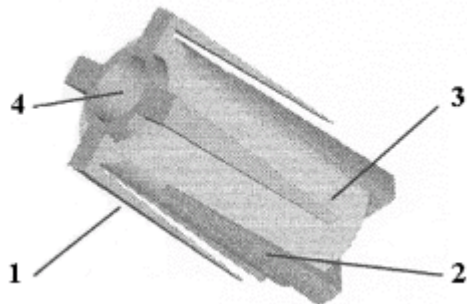


construcție simetrică
în stator,

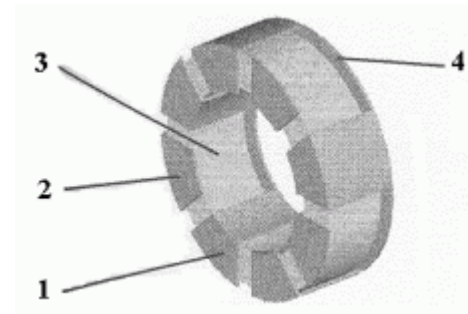
1- pol nord,
2 – pol sud,
3 – înfășurare
cilindrică de tip
homopolar,
4 – jugul armăturii
cu poli gheară.



construcție nesimetrică
în stator,



construcție simetrică în rotor,



armătură cu poli gheară de tip disc:

Modelul matematic al structurii cu poli gheară

Trebuie determinată variația inducției magnetice în întrefier și a t.e.m. induse
În regimul de mers în gol și în sarcină.

Elemente care determină complexitatea ridicată a modelului

- topologia complicată și
- caracteristici homopolare ce determină o cale de flux magnetic tridimensională.

Două metode de studiu, ambele bazându-se pe **modele de tip circuit-câmp**

Metoda circuitului magnetic echivalent - MEC

Înfășurările parcurse de curenți produc solenații - F

Solenațiile în circuitul magnetic determină fluxul magnetic util - ϕ
și fluxurile de scăpări ϕ_{σ}

Circuitul magnetic este echivalat ca o reluctanță magnetică - R_m

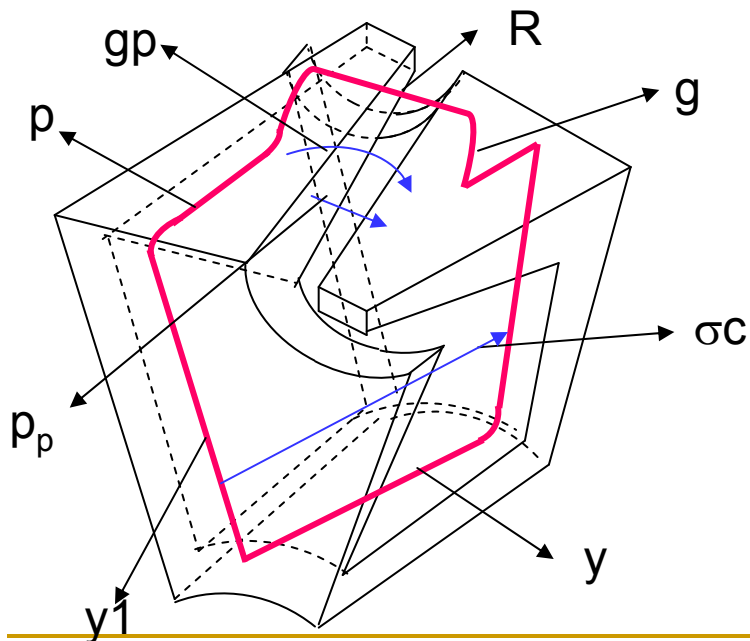
Metoda circuitului magnetic echivalent - MEC

Se împarte circuitul magnetic în porțiuni în care se poate calcula reluctanța

$$R_m = \frac{1}{\mu} \frac{L}{A}$$

Unde: L – lungimea; A - secțiunea porțiunii de circuit

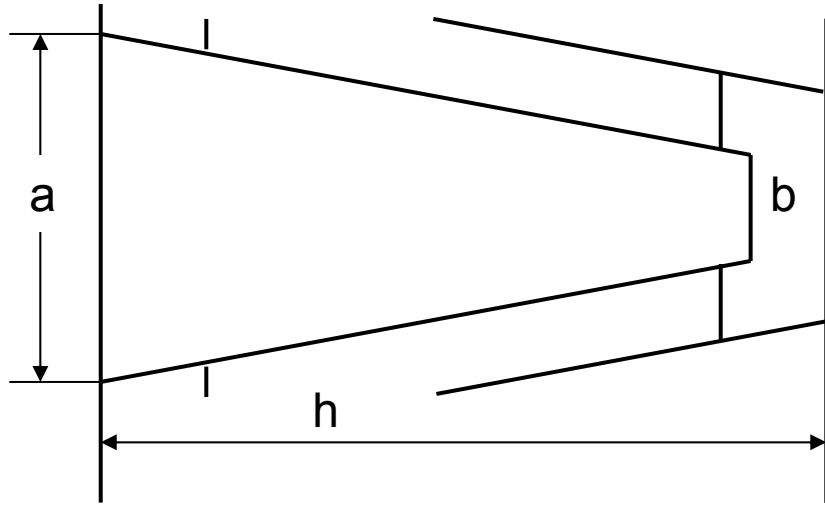
Pentru a calcula reluctanțele MEC, s-au făcut următoarele presupuneri simplificatoare:



-Considerarea permeabilității magnetice a miezului de fier mult mai mare decât cea a întrefierului.

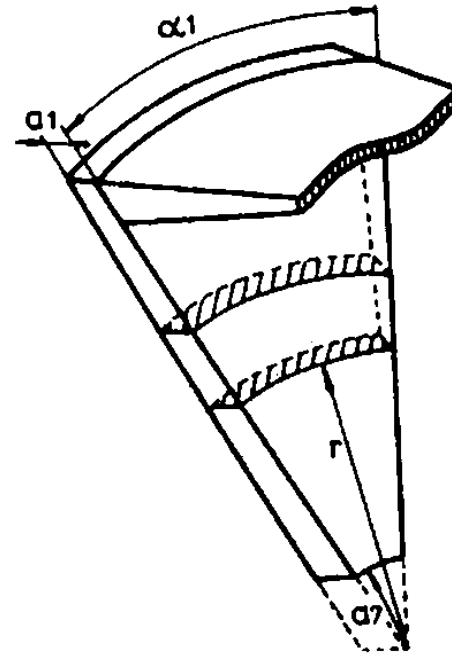
- Considerarea neliniarității introduse de saturația miezului de fier numai în calculul iterativ al reluctanțelor.

Metoda circuitului magnetic echivalent - MEC



Reluctanța întrefierului pentru un pol este

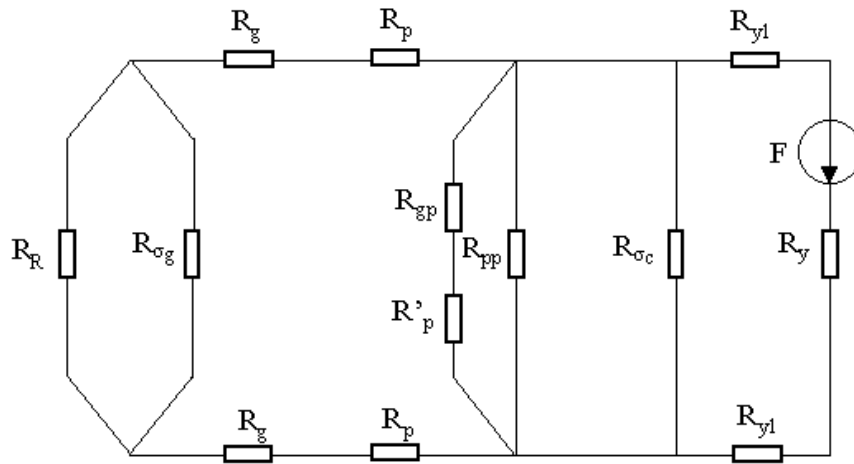
$$R_g = \frac{1}{\mu_0} \frac{2g}{(a+b)h}$$



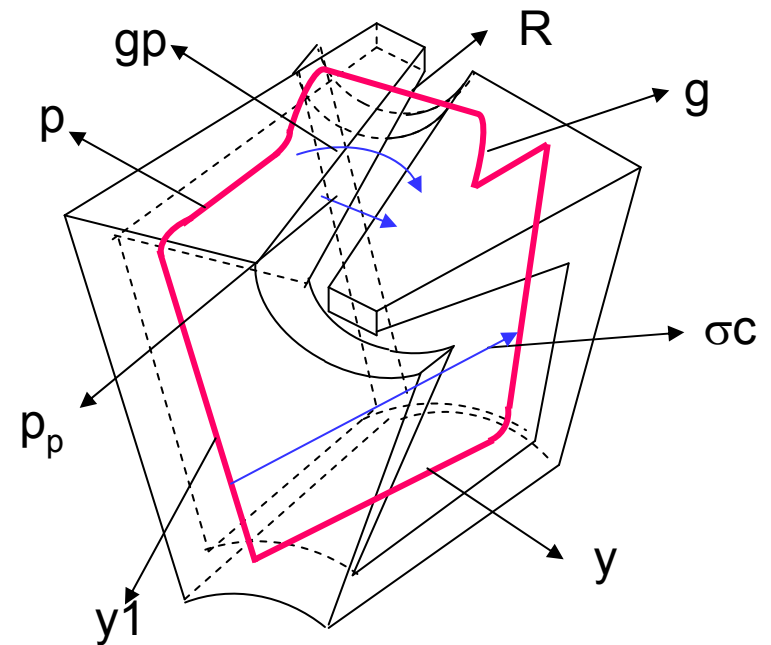
Partea frontală a structurii.

$$R_{y1} = \frac{1}{\mu} \frac{1}{\alpha_1 \cdot a_1} \ln \frac{a_1 + a_7}{a_7}$$

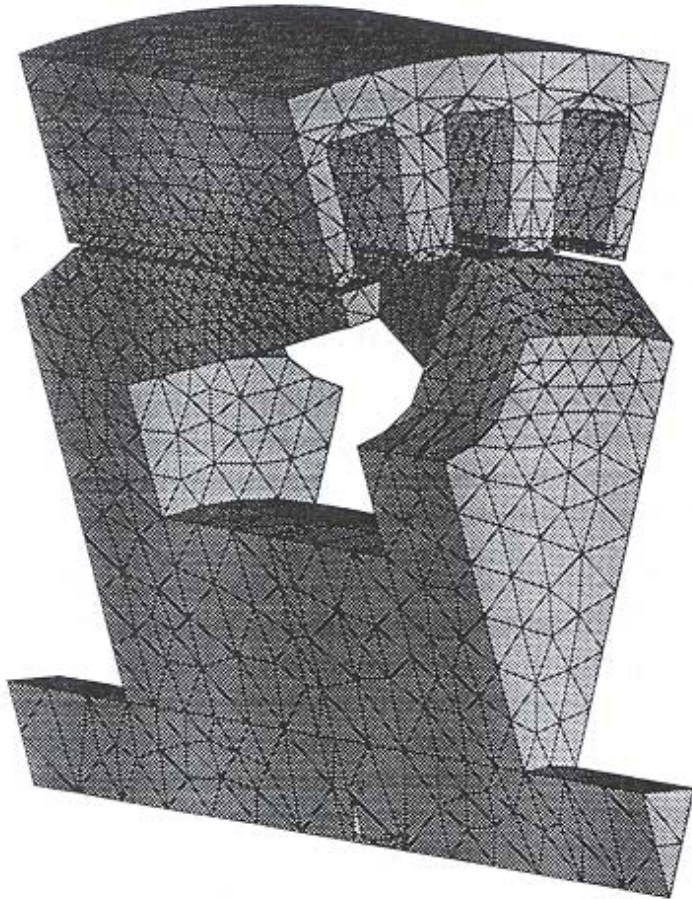
Metoda circuitului magnetic echivalent - MEC



Circuitul magnetic echivalent MEC
al unei mașini cu poli gheară



Modelul cu elemente finite FEM



Modelul cu elemente finite FEM

- se aplică doar pe **un pas polar** din cauza simetriei mașinii,

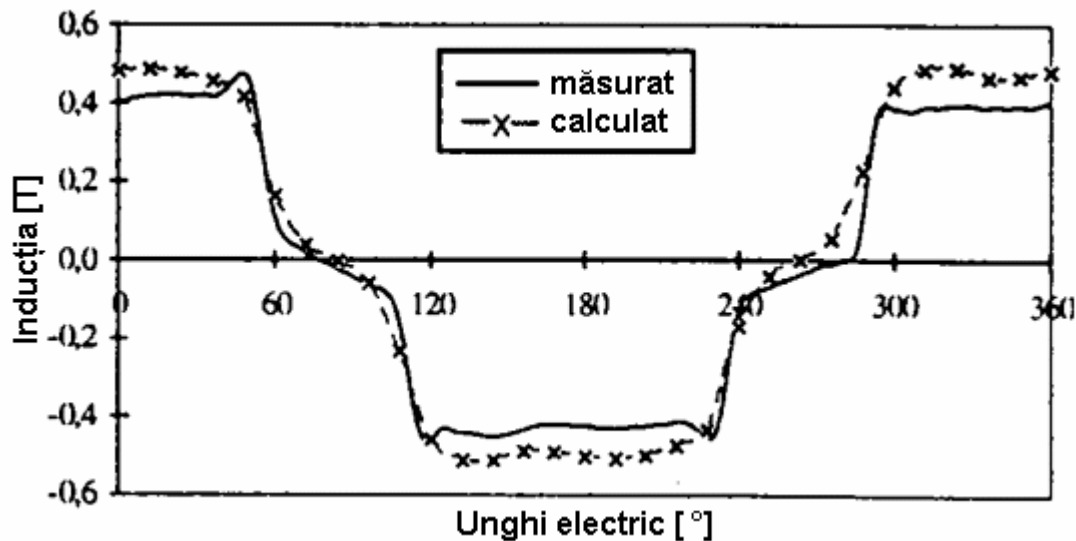
- **Condițiile de frontieră** sunt **condiții de periodicitate** ce țin seama de înclinarea polilor

- gheară rotorică

Rețeaua de elemente finite pe un pas polar al unui generator cu poli gheară, fără reprezentarea elementelor din regiunile de aer.

Modelul matematic al mașinii cu poli gheară

- Diferența dintre ele constă în modalitatea de rezolvare a componentei de câmp a modelului.
- În mod obișnuit, FEM se utilizează pentru a calcula caracteristicile de regim permanent și pentru a susține calculele de proiectare.
- Caracteristicile dinamice se calculează pe baza MEC sau a unui model simplificat derivat din acesta.

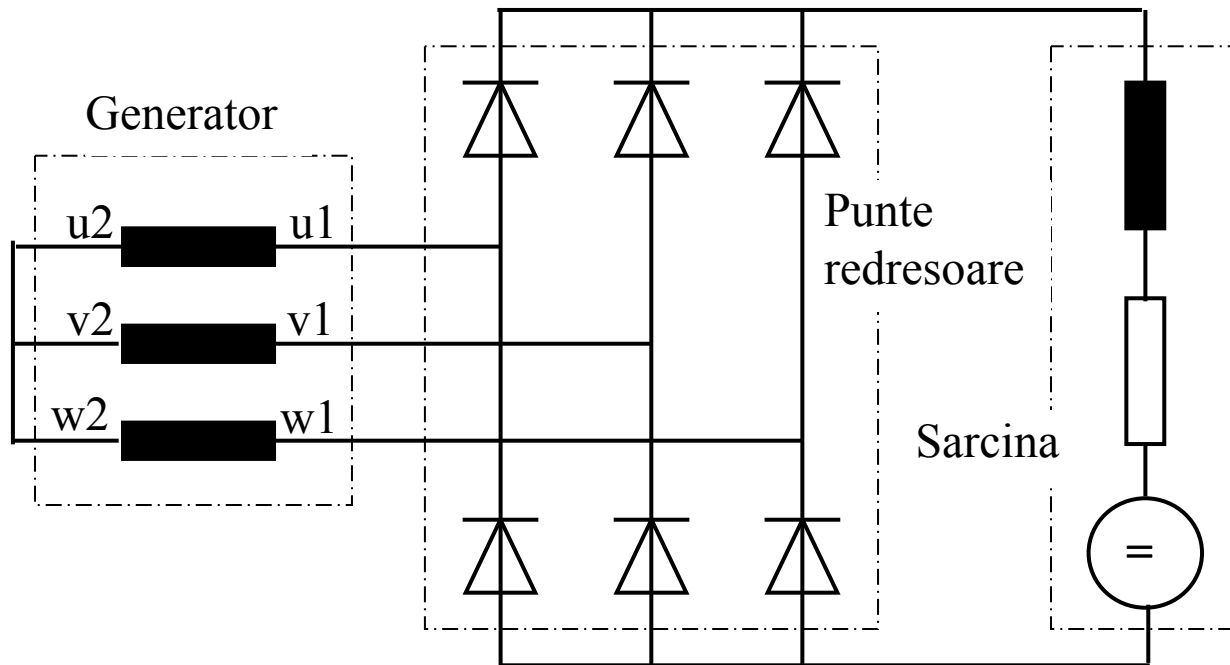


Inducția magnetică în întrefier la mersul în gol, pentru un generator cu poli gheară

Conținut important de armonici spațiale.

Modelul matematic al mașinii cu poli gheară

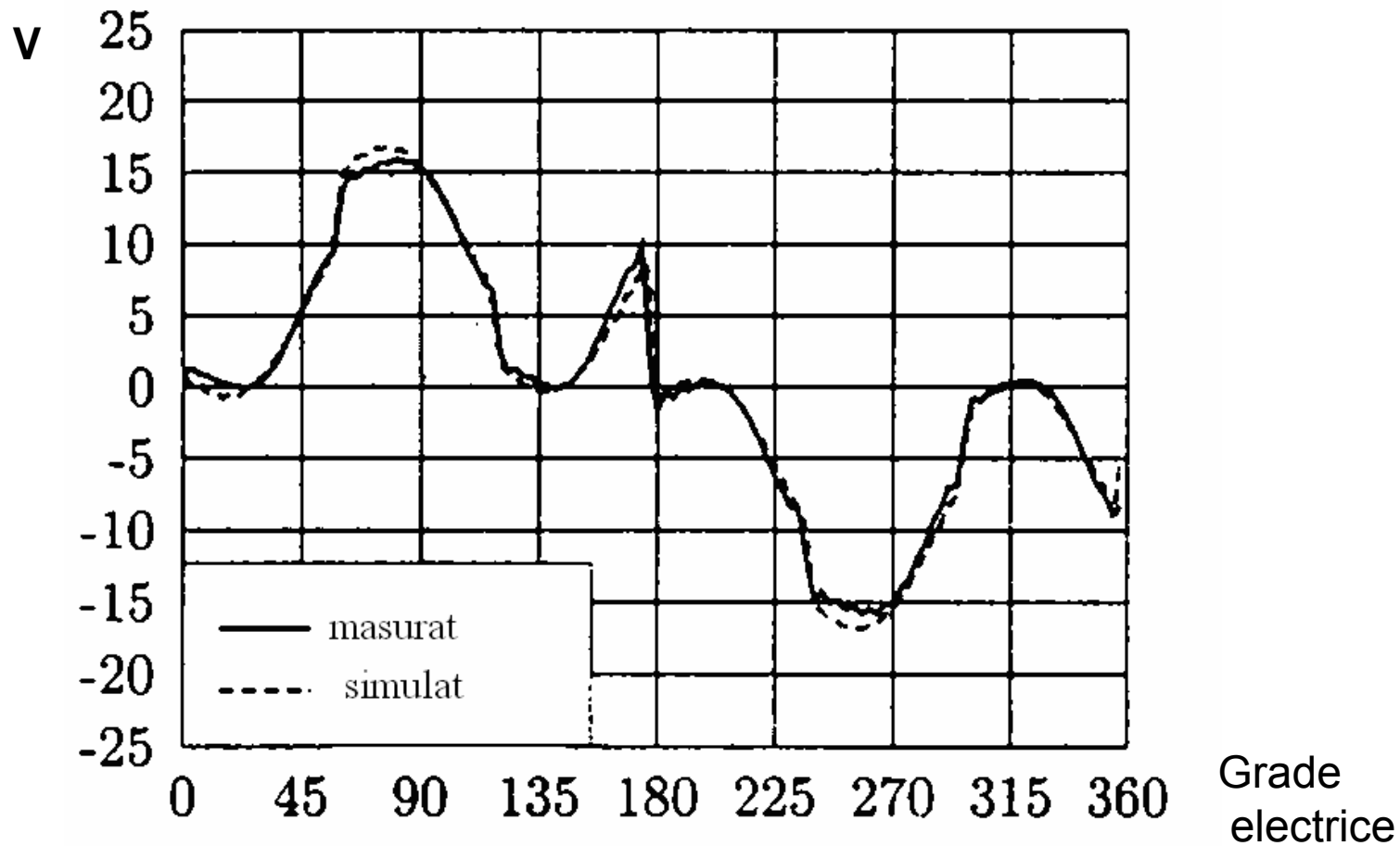
Ieșirea generatorului cu poli gheară este convertită în curent continuu printr-o punte redresoare.



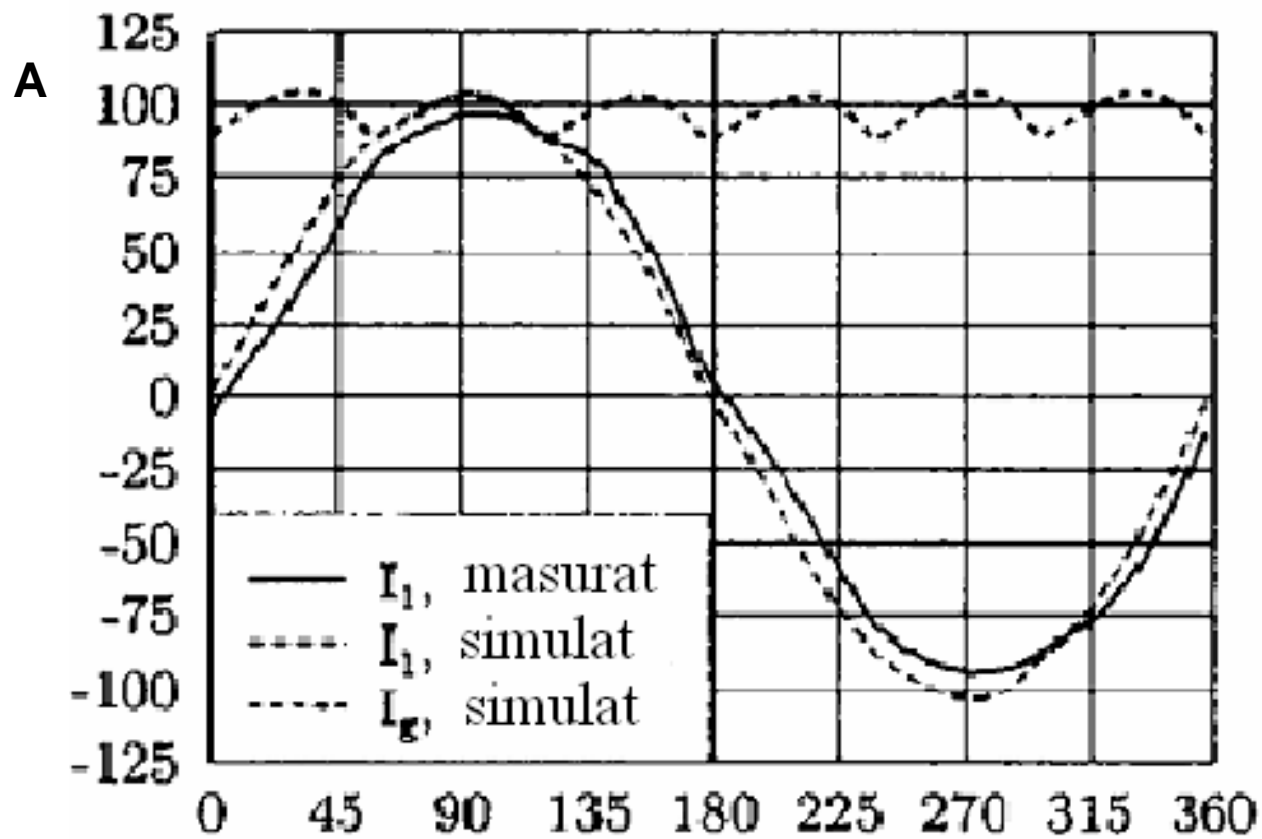
Circuitul echivalent al generatorului cu poli gheară cu sistemul de sarcină

Modelul modulului de generator conține un sistem de 6 ecuații de stare

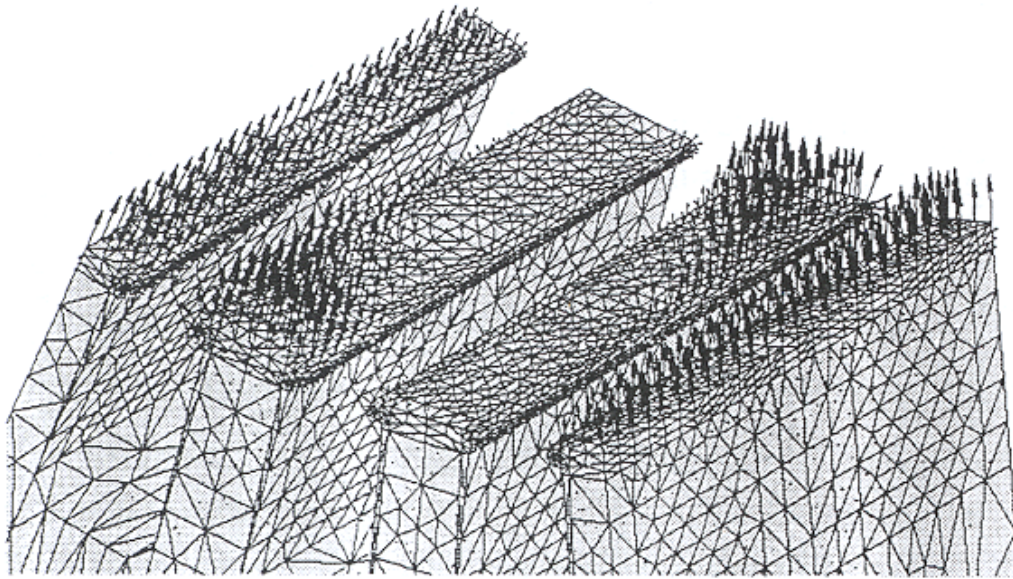
T.e.m. indusă.



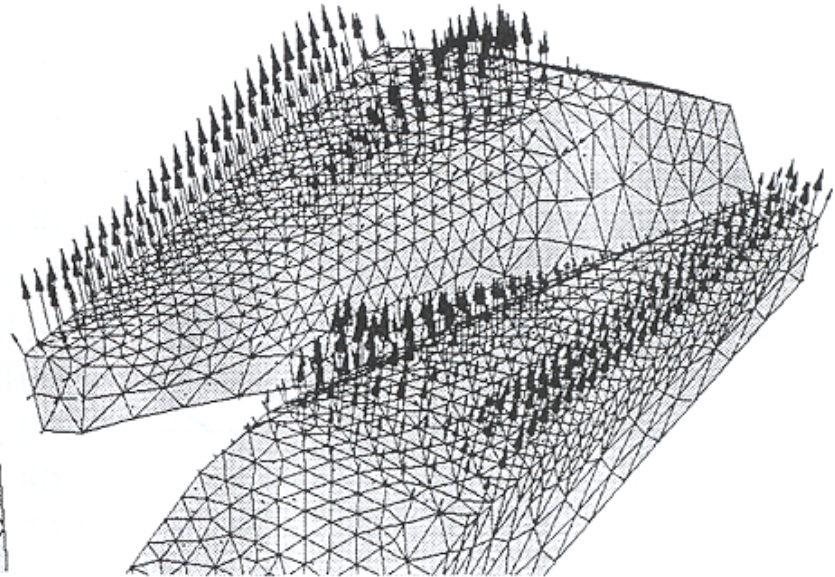
Curentul debitat de generator



Densități de forțe calculate



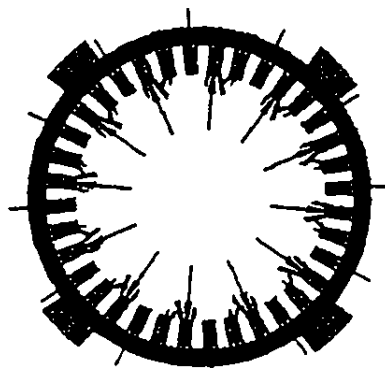
Stator



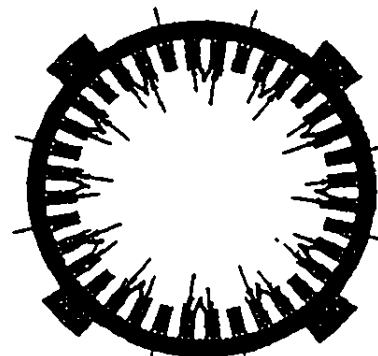
Rotor

Distribuția densităților de forțe la mers în gol pe un pas polar,
a) stator, b) rotor

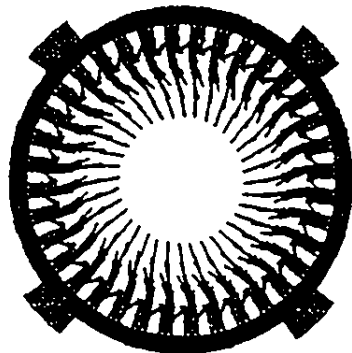
Forțe magnetice calculate



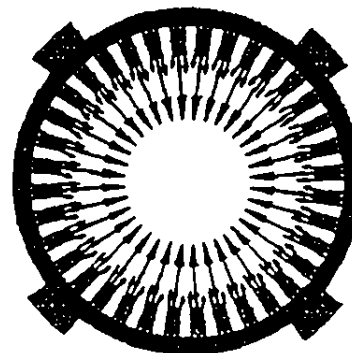
2nd harmonic, real component



2nd harmonic, imaginary component



6th harmonic, real component



6th harmonic, imaginary component

Distribuția forțelor magnetice în stator

Modele îmbunătățite de mașini sincrone cu poli gheară

Generatorul cu poli gheară alimentează cu energie automobilele.

Ele trebuie să genereze suficientă energie pentru toți consumatorii electrici și să echilibreze încărcarea bateriei.

Îmbunătățirea procesului de producere a energiei apare ca necesar cu cât există mai mulți consumatori electrici instalați în automobil.

Optimizarea formei polului gheară trebuie să conducă la îmbunătățirea performanțelor de ieșire și la reducerea zgomotului

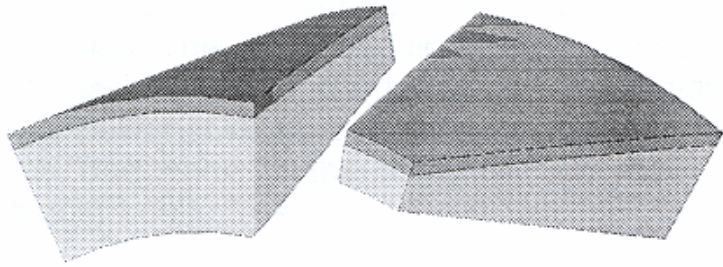
Zgomotul audibil al generatorului devine din ce în ce mai important.

În consecință, proiectantul trebuie să ia în considerare reducerea zgomotului calculând vibrațiile generatorului cu poli gheară

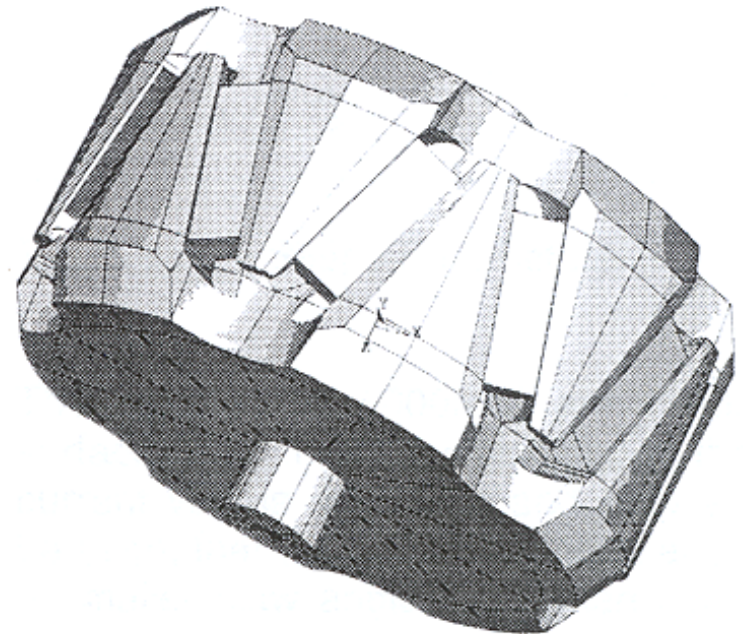
Variante constructive studiate

1. magneții permanenți plasați între poli și miez în jurul axului, în locul înfășurării.
 2. magneții permanenți plasați pe fața polilor rotorici
 3. magneții permanenți plasați între polii rotorici,
 4. Schimbarea numărului de poli față de numărul standard de 12 poli, existenți la toți producători din lume
-

Structura variantelor mașinilor cu poli gheară

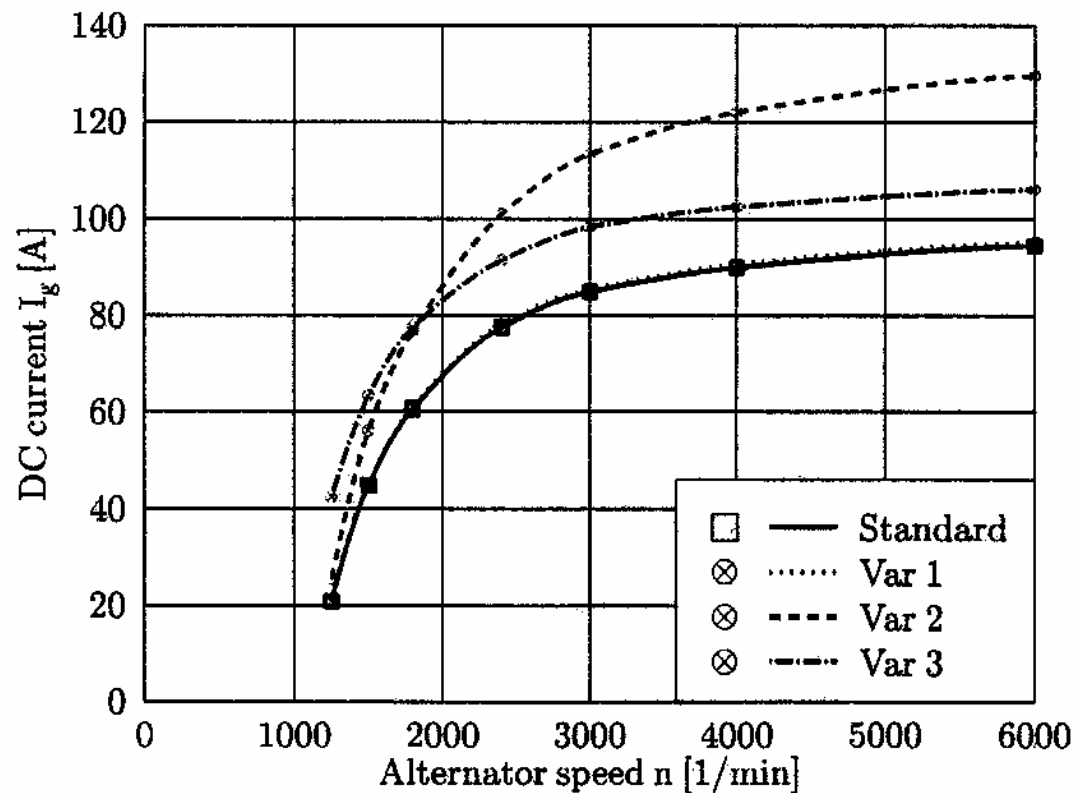


Magneți permanenți lipiți pe poli



Magneți permanenți între poli

Variante constructive studiate

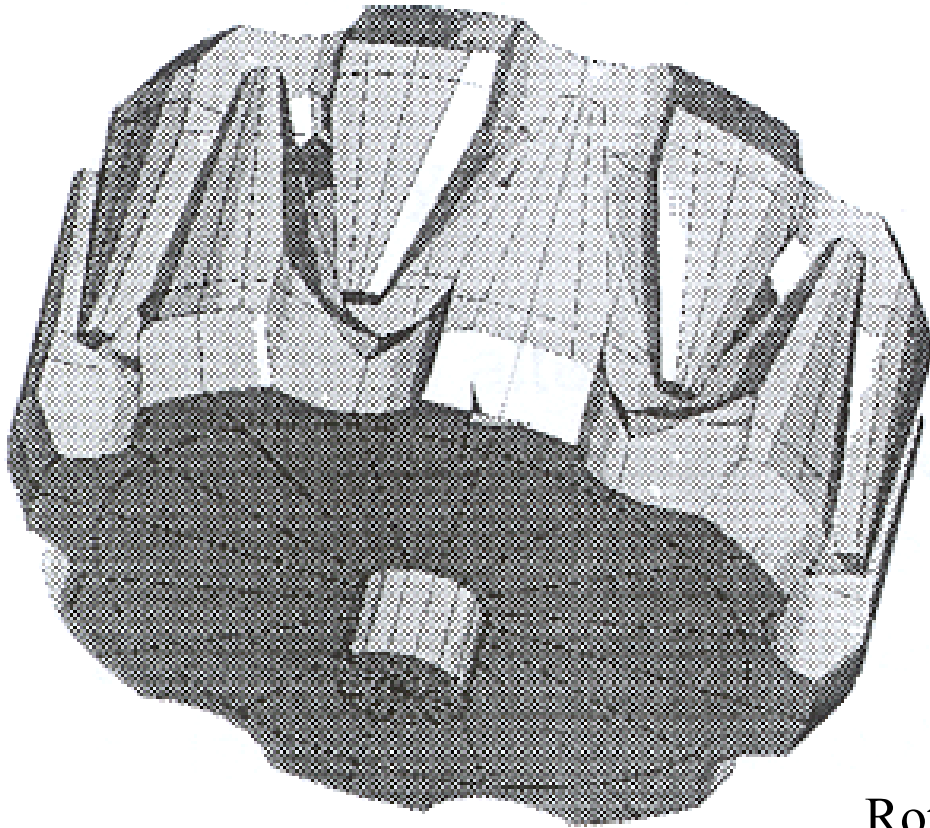


Varianta 1
Nu aduce
înbunătățire

Comparație între caracteristicile obținute cu generatoarul cu poli gheară cu diferite variante de excitație hibridă.

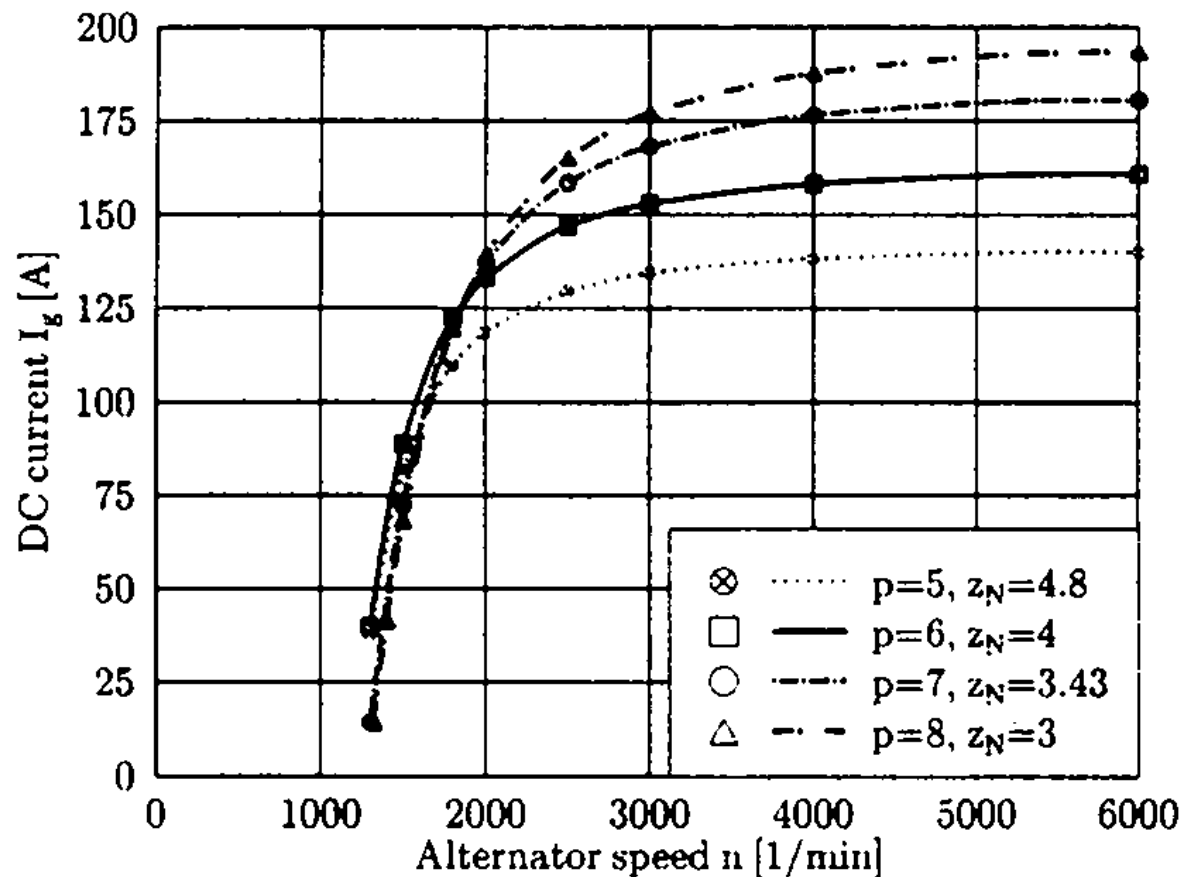
Variante constructive studiate

Toate generatoarele cu poli gheară, de la puteri mici la puteri mari și la toți producătorii din lume, au un număr standard de 12 poli.



Rotor cu poli gheară cu 16 poli.

Variante constructive studiate



$p = 5$
Este mai slabă.

Variația curentului cu turația pentru generatoare cu poli gheară și număr diferit de poli.

Concluzii

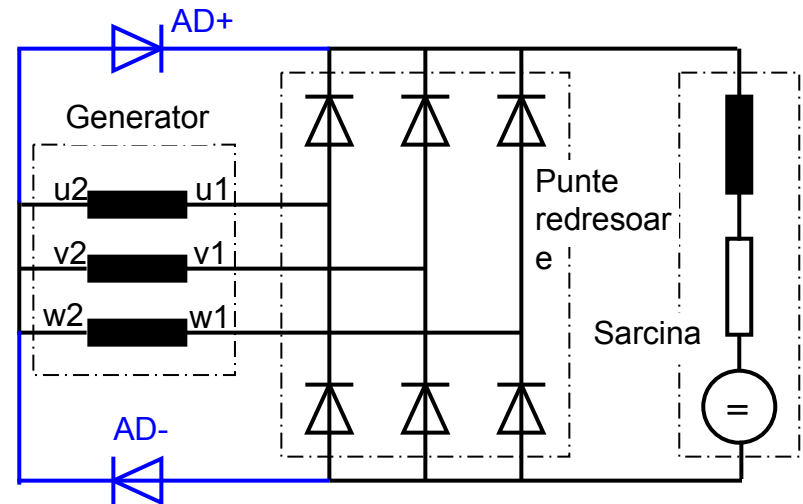
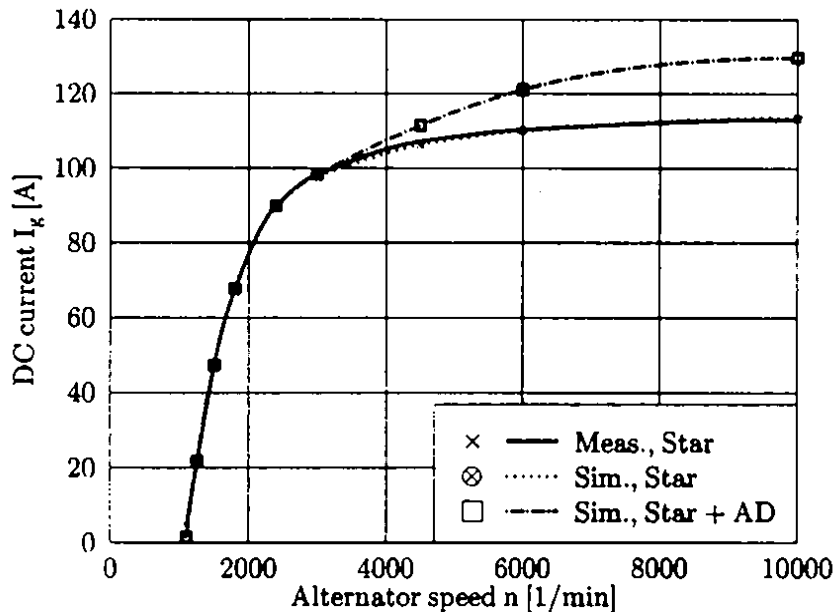
- 1 . magneții permanenți plasați între poli și miez în jurul axului, în locul înfășurării Această variantă nu aduce nici o îmbunătățire. crește prețul de cost, nu se poate regla încărcarea bateriei.
2. Magneții permanenți plasați pe fața polilor rotorici. Aduce îmbunătățiri la viteze mari crește prețul de cost, probleme tehnologice de fixare a magneților.
3. In cazul magneților permanenți plasați între polii gheară, creșterea de curent față de caracteristica standard este practic independentă de turație. Tinând cont de prețul de cost mai redus și de faptul că nu apar chiar atâtea probleme constructive, această variantă este cea mai bună.
4. În cazul creșterii numărului de poli se obține o îmbunătățire numai la viteze mari, peste 2000 rot/min.

Utilizarea unei astfel de soluții depinde însă de raportul preț/indice de calitate și este justificată numai dacă se obține la același preț un indice de calitate mai bun.

Efectul diodelor economizoare

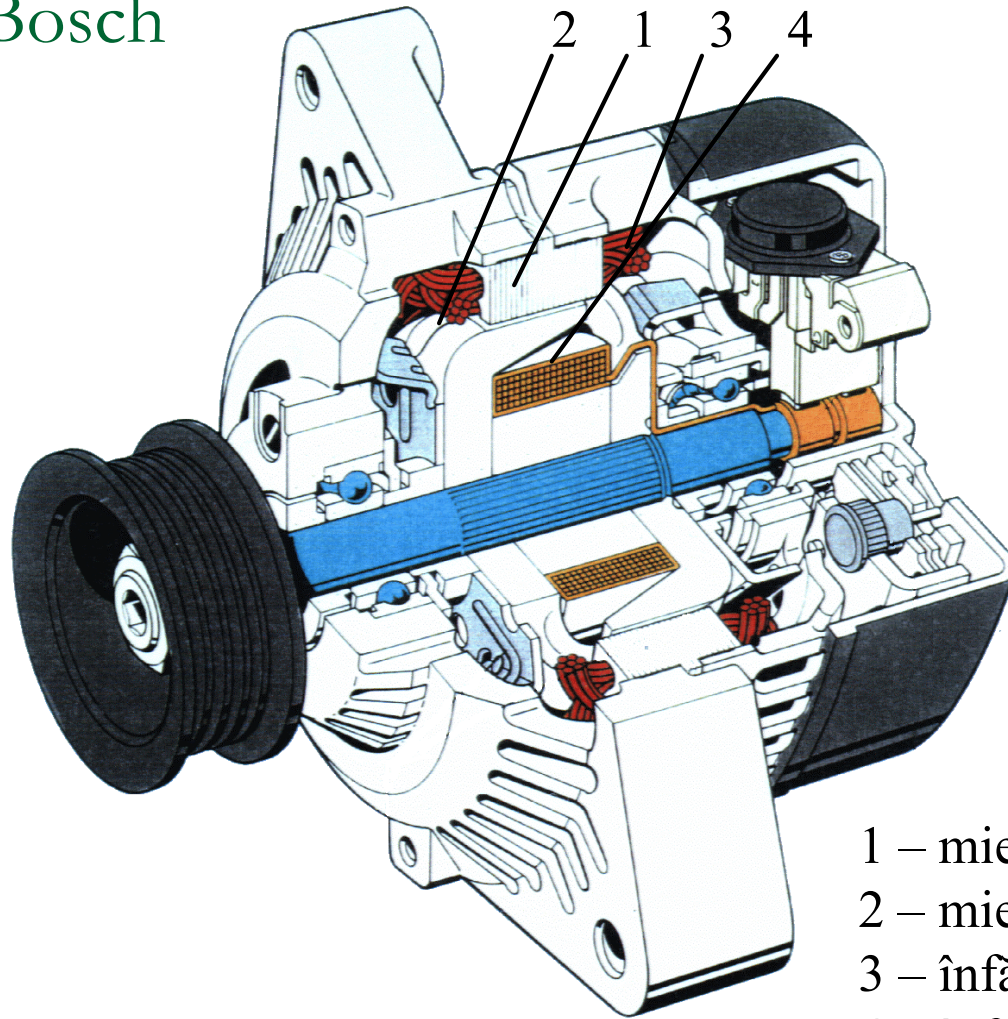
Sistemul de control asigură reglarea tensiunii prin controlul curentului de excitație al generatorului.

Diodele auxiliare AD+ și AD- sunt plasate astfel încât să se utilizeze armonica de ordin 3 a tensiunii trifazate pentru a crește curentul generatorului.



Aceste diode economizoare îmbunătățesc puterea de ieșire, dar această îmbunătățire este efectivă numai la viteze peste 3000 rpm

Sistem complet pentru echiparea automobilelor, produs de Bosch



- 1 – miezul statoric,
- 2 – miez rotoric cu poli gheară,
- 3 – înfășurarea statorică,
- 4 – înfășurare homopolară rotorică.

Bibliografia

Biro, K., Viorel, I.A.: “On the synchronous machine dynamic behaviour modeling”, Proc. of ICEM’94, Paris, vol. II, pp. 134-138

Block, R., Henneberger, G.: “Numerical calculation and simulation of a claw-pole alternator”, Proc. of ICEM’92, pp.127-131

Block, R.: “3-dimensionale numerische Feldberechnung und simulation eines Klauenpolgenerators”, Dissertation, Institut für Elektrische Maschinen der RWTH Aachen, 1992

Henneberger, G., Kupperts, S.: “Field calculation and dynamic simulation of a claw-pole alternator”, Proc. of the 7th Int. Conf. on Electrical Machines and Drives, Durham, England, 1995

Henneberger, G., Kupperts, S.: “Optimization of claw-pole alternators using 3D magnetic field calculation”, Proc. of the 2nd Int. Workshop on Electric and Magnetic Fields, Leuven, Belgium, 1994

Henneberger, G., Kupperts, S.: “Improvement of the output performance of claw-pole alternators by additional permanent magnets”, Proc. of ICEM’94, vol.2, pp.472-476

Bibliografia

Henneberger, G., Kuppers, S., Ramesohl, I.: “Numerical calculation, simulation and design optimization of claw-pole alternators for automotive application”, Proc. of the 7th Int. Conf. on Electrical Machines and Drives, 1996

Kuppers, S., Henneberger, G., Ramesohl, I.: “The influence of the number of poles on the output performance of a claw-pole alternator”, Proc. of ICEM’96, pp.268-272

Kuppers, S., Henneberger, G.: “Numerical procedures for the calculation and design of automotive alternators”, Proc. of CEFC’96, Okagama, Japan

Kuppers, S.: “Numerische Verfahren zur Berechnung und Auslegung von Drehstrom-Klauenpolgeneratoren”, Dissertation, Institut für Elektrische Maschinen der RWTH Aachen, 1996

Mclean, G.W.: “Brushless DC drives using claw-pole stator and disc rotor”, Proc. of IEE, Part B, vol.126, 1979, pp.683-689

Pawlak, A.M.: “Claw-pole rotary actuators”, Proc. of ICEM’92, pp.122-126

Radu, Mihaela,viorel, I.A., Iancu, V.: “On an equivalent magnetic circuit developed for a claw-pole type armature”, Technical Univ. of Iasi Annals, vol.XLI, 1995, no.5, pp.45-52

Bibliografia

Ramesohl, I., Koppers, S., Henneberger, G.: “Pole shape optimization of claw-pole alternator for the reduction of magnetic forces”, 3rd Workshop, Luttich, 1996

Ramesohl, I.: “Numerische Geräuschberechnung von Drehstrom - Klauenpolgeneratoren”, Dissertation, Institut für Elektrische Maschinen der RWTH Aachen, 1999

Risse, S., Henneberger, G.: “Increasing the power of alternators for the next car generation – a simulation approach”, Proc. of ELECTRIMAX’99

Viorel,i.A., Csapo-martinescu, E., Szabo, L.: “Claw-pole brushless DC motor for a variable speed drive system”, Proc.of PCIM’94, vol.Intelligent Motion, pp.127-131

Xu, D., Zhen, L., Kim, E.-H.:“Claw-pole brushless DC motor for a variable speed drive system”, Proc.of PCIM’94, vol.Intelligent Motion, pp.127-131

Biro K.A.,Viorel I.A.,Syabo L.,Henneberger G. “ Maşini electrice speciale ”, *Editura MEDIAMIRA*, Cluj-Napoca, 2005.