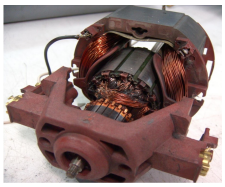


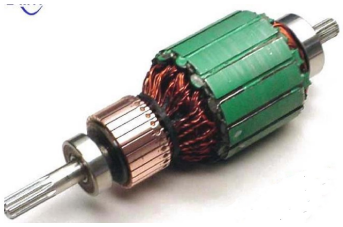
فصل سوم
بررسی اجزای تشکلیل دهنده ماشین DC
جلسه چهارم

در این جلسه می پردازیم به ادامه بررسی و وظایف اجزای تشکیل دهنده ماشینهای DC

مطالب این جلسه و جلسات بعد به شرح زیر است:

۱- کموتاتور و اجزا و وظیفه هر کدام
۲- زاویه الکتریکی و زاویه مکانیکی
۳- محاسبه نیروی محرکه و گشتاور القایی در ماشینهای DC
٤- عکس العمل آرمیچر
٥- کموتاسیون در ماشینهای DC و مسایل مربوط به انها
٦- تقسیم بندی ماشینهای الکتریکی به مولدها و موتورها ← انواع مولدها و موتورها ی DC
۷- بررسی مشخصات الکتریکی و مکانیکی انواع مولدها و موتورهای DC

نمایش اجزای محتلف آرمیچر

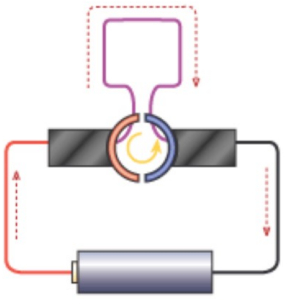


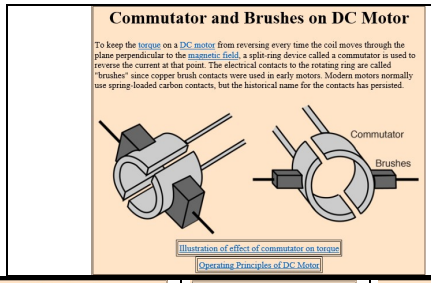
۱-کمو تاتور و اجزاء و وظیفه هر کدام

وظیفه کموتاتور و جاروبکها عبارتست:

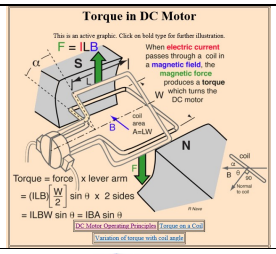
۱- از انتقال جریان و ولتاژ الکتریکی به داخل سیم پیچی آرمیچر و یا انتقال به خارج از سیم بندی آرمیچر.
۲- تبدیل ولتاژ القایی در سیم پیچی آرمیچر که از نوع متناوت (AC) است به نوع DC (یکسوسازی مکانیکی)

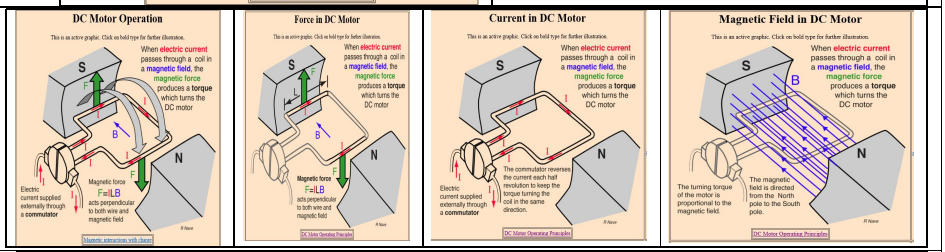
جارو بکها بایستی طوری ساخته شوند که ضمن داشتن هدایت الکتریکی مناسب از نظر مکانیکی دارای درجه سایشی مناسب باشد . لذا از آلیاژ مس و کربن ساخته می شود.

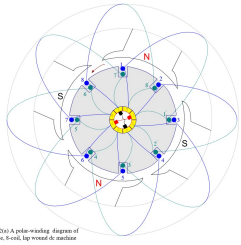


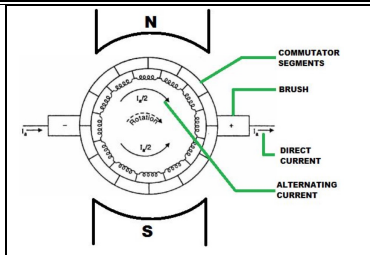


۱- انتقال جریان و ولتاژ به سیم پیچی آرمیچر









محل قرار گرفتن جاروبکها:

محور مغناطیسی و محور مغناطیسی خنثی:

دو محور بایستی مورد توجه قرار گیرد

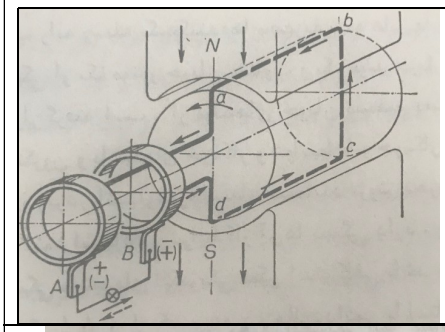
الف) محور مغناطیسی ب) محور خنثی مغناطیسی

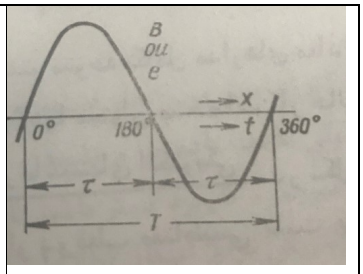
جاروبکها در امتداد محور خنثی مغناطیسی قرار می گیرند.

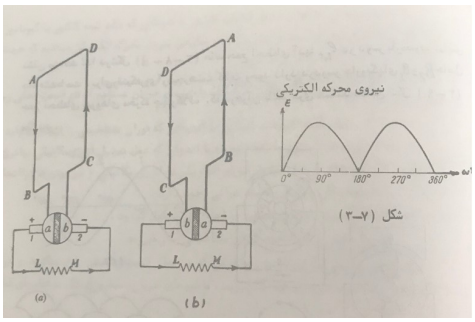
تمرین ۱: با رسم شکل دو محور مغناطیسی را نشان دهید.

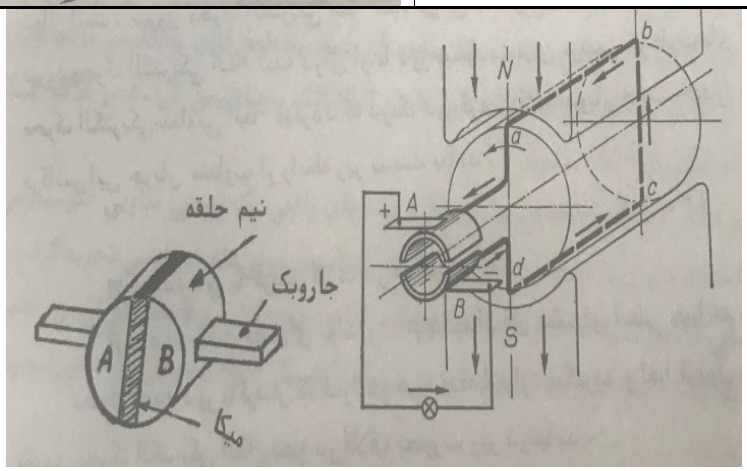
۲-یکسو سازی مکانیکی

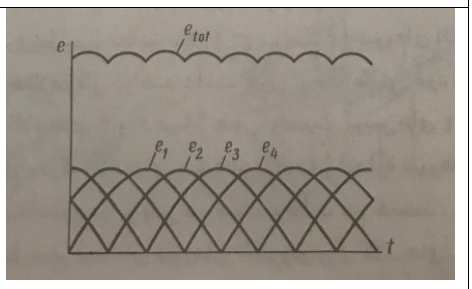
ولتاژ القاء شده در سیم پیچ آرمیچر در گردش ۳۶۰ درجه ای آن در حضور میدان مغناطیسی استاتور یک موج AC می باشد که توسط کموتاتور و جاروبکها به ولتاژ DC تبدیل می گردد.



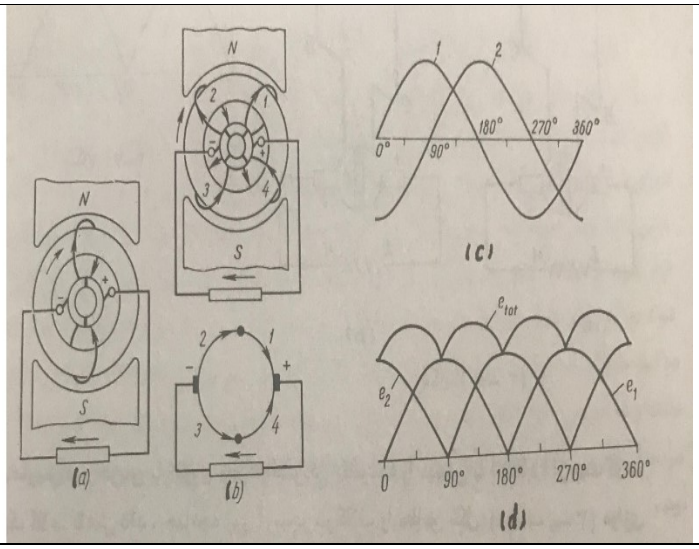








تمرین ۲ : وظایف کموتاتور و چگونگی یکسو سازی موج ولتاژ القاء شده در هر حلقه سیم بندی آرمیچر توسط کموتاتور را تشریح نمایید.



۲-زاویه الکتریکی و زاویه مکانیکی

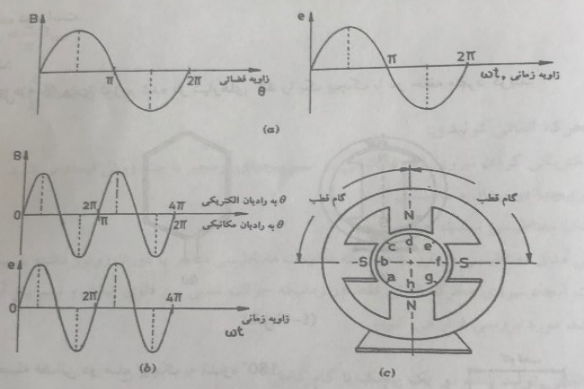
تمرین ۳ : با رسم شکل زاویه الکتریکی و زاویه مکانیکی را توضیح داده و رابطه بین آنها را در یک ماشین DC با تعداد P قطب بدست آورید:

الف) زاویه الکتریکی و مکانیکی:

برای یک ماشین p قطبی رابطه بین زوایای مکانیکی و الکتریکی بصورت زیر بیان می شود:

$$\theta_e \text{ (الکتریکی)} = \frac{P}{2}\theta_m \text{ (مکانیکی)} \qquad (4\text{-}2)$$

شکل (۸-٤) ماشین چهار قطبی را نشان می دهد که در اولین چرخش کامل، هادی در میدان ایجاد شده، دو سیکل از نیرومحرکه القائی تولید می شود. بنابراین برای یک ماشین p قطبی رابطه بین سرعت زاویه ای الکتریکی و مکانیکی بصورت زیر بدست خواهد آمد:



شکل(۸-٤)

$$\theta_e = \frac{P}{2}\theta_m$$

با مشتق گیری از رابطه فوق:

$$\frac{d}{dt}\theta_e = \frac{P}{2}\frac{d}{dt}\theta_m$$

و لذا:

$$\omega_e = \frac{P}{2}\omega_m$$

که در این رابطه ω_e سرعت زاویه ای بر حسب رادیان الکتریکی بر ثانیه و ω_m سرعت زاویه ای بر حسب رادیان مکانیکی بر ثانیه می باشد.

محاسبه ولتاژ القایی و گشتاور القایی

۳- محاسبه نیروی محرکه القایی در ماشینهای الکتریکی DC

توجه گردد که در ماشینهای الکتریکی چه به صورت مولد مورد استفاده قرار گیرد و چه به صورت موتور مورد استفاده قرار گیرد نیروی محرکه الکتریکی و گشتاور در سیم پیچ آرمیچر القاء می گردد.

۱- در حالت مولدی ← گشتاور القایی تولید شده توسط ماشین که در مقابل گشتاور مکانیکی اعمال شده به ماشین قرار می گیرد تا تعادل بوجود آید – در این حالت به گشتاور القایی گشتاور ضد محرکه گفته می شود.

۲- در حالت موتوری ← نیروی محرکه القایی که در مقابل نیروی محرکه اعمالی برای ایجاد تعادل قرار می گیرد- نیروی ضد محرکه القایی نامیده می شود.

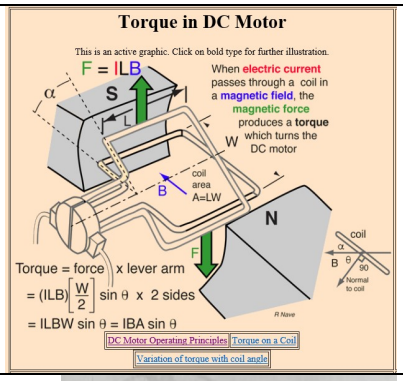
۱-هر هادی به طول l متر اگر در یک میدان مغناطیسی با چگالی شار B تسلا با سرعت υ متر بر ثانیه حرکت کند (به طور خطی) ولتاژ القایی در این هادی عبارتست از:

$$e_{ind} = (B \times \upsilon).L = B\ \upsilon\ L \quad Volt$$

۲-در ماشینهای دوار حرکت دورانی است و به جای سرعت خطی سرعت دورانی داریم و رابطه بین سرعت خطی و سرعت زاویه ای عبارتست از:

$$\upsilon = r\omega_m$$

$$e_{ind} = rlB_{av}\omega_m \ Volt$$

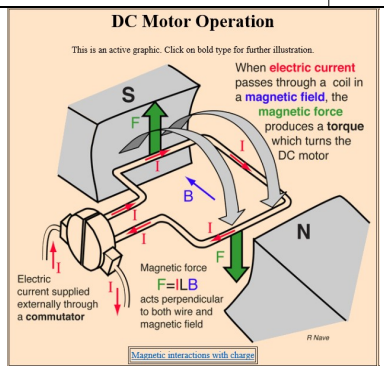


۳-اگر شعاع روتور r متر و طول استوانه روتور l متر باشد مساحت جانبی روتور می شود:

$$S = 2\pi rl \rightarrow m^2$$

حال اگر ماشین دارای P قطب باشد مساحت متعلق به هر قطب :

$$A_P = \frac{2\pi rl}{P}$$



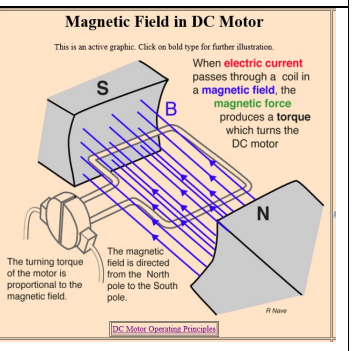
۴-مقدار متوسط شار یعنی B_{av} خواهد شد:

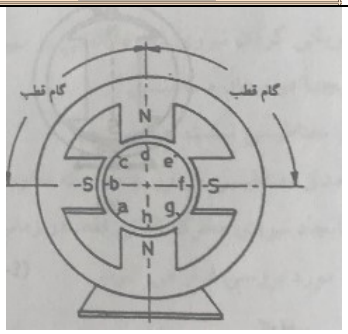
$$B_{av} = \frac{\Phi}{Ap}$$

و لذا داریم:

$$e_{av} = \frac{P}{2\pi}\Phi\omega_m$$

این ولتاژ القایی در یک هادی از یک حلقه تک دوری می باشد.





۵-حالا اگر به جای یک حلقه- یک کلاف با تعداد Z هادی (یا $Z/2$ حلقه) در نظر بگیریم: ولتاژ القاء شده در کل کلاف خواهد شد:

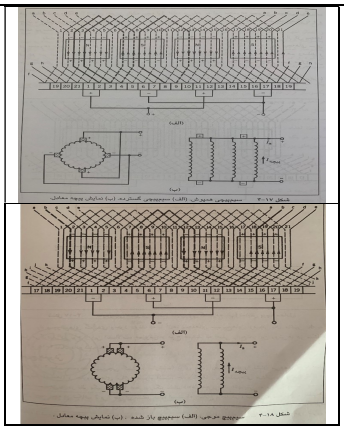
$$e_{av} = \frac{ZP}{2\pi}\ \Phi\omega_m \quad Volt$$

از بحث مفصلی که در بخش سیم بندی آرمیچر دیدیم تعداد کلافها در آرمیچر عمدتا بسیار بیشتر از یک کلاف است و لذا در یک ماشین DC با تعداد N_C کلاف و Z_C دوردر هر کلاف خواهیم داشت:

$$Z = 2 \times N_C \times Z_C$$

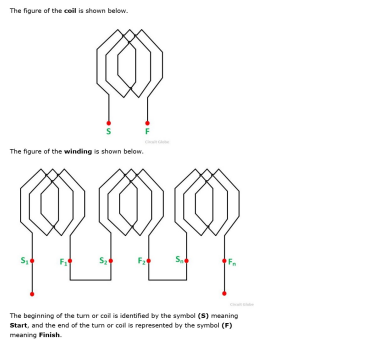
لذا با قرار دادن Z در رابطه e_{av} مقدار ولتاژ القایی در کل ماشین محاسبه می گردد.

این در صورتی صحیح است که مانند شکل همه کلافها با هم سری گردند.



از بخش سیم بندی آرمیچرفهمیدیم که در سیم بندی از نوع حلقوی کلافها در نهایت به چند مسیر موازی تقسیم می گردند و جریان کل آرمیچر یعنی I_a به تعداد a راه جریان تقسیم می گردد به طوریکه داشتیم:

در سیم بندی حلقوی $a = P$ و در سیم بندی از نوع موجی: $a = 2$ بود. (a تعداد راه جریان است)



و لذا رابطه کلی برای ولتاژ القایی در کل ماشین بر حسب ولت خواهد شد:

$$e_{av} = \frac{ZP}{2\pi a}\Phi\omega_m$$

ثابت ماشین DC:

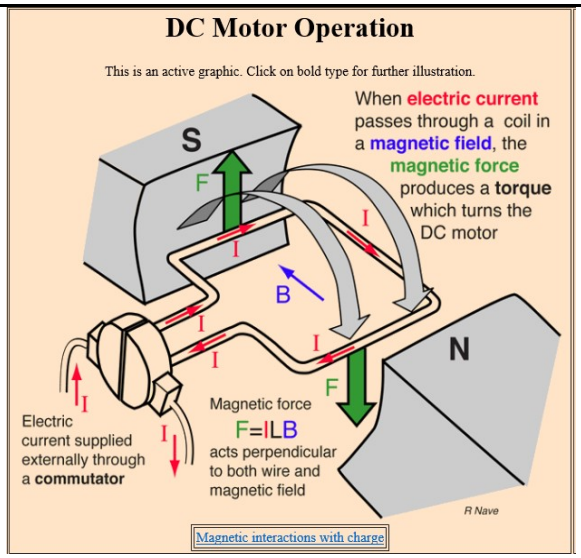
$$K_a = \frac{ZP}{2\pi a}$$

بنا براین ولتاژ القایی در یک ماشین DC عبارتست از: $e_{in} = K_a\Phi\omega_m$ Volt

توجه : همواره در ماشینهای دوار – دور مکانیک (n_m) برحسب دور در دقیقه داده می شود و لذا لازم است برحسب رادیان بر ثانیه تبدیل شود. از رابطه مقابل می توان عمل تبدیل را انجام داد: $\omega_m = (n_m/60)2\pi$ rad/sec.

تمرین ۴ – یک بار دیگر رابطه نهایی ولتاژ القایی در یک ماشین DC (ربطه فوق) را بدست آورید (با تشریح کامل).

٤- محاسبه نیرو و گشتاور القایی در ماشینهای الکتریکی DC



۱–هر هادی به طول l متر اگر در یک میدان مغناطیسی با چگالی شار B تسلا حامل جریان I آمپر باشد نیروی القایی در این هادی عبارتست از:

$$F_{ind} = I(Bxl) = B\,I\,l \quad \text{Newton}$$

۲-یک زوج نیرو در دو هادی رفت و برگشت هر حلقه از کلافها مانند شکل بدست می آید. فاصله بین دو هادی رفت و برگشت همان قطر آرمیچر است و اگر شعاع آرمیچر r باشد در این صورت باعث تولید گشتاور با رابطه زیر می گردد.

$$T_{ind} = F_{ind}\times r \rightarrow Nm$$

گشتاور متوسط عبارتست از:

$$T_{av} = B_{av}rlI_c \rightarrow Nm$$

مانند آنچه برای ولتاژ القایی ادامه دادیم به راحتی ثابت می شود که:

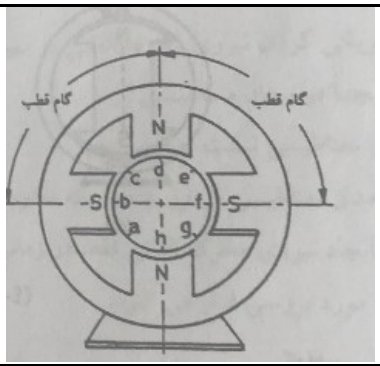
$$T_{in} = K_a\Phi I_a \rightarrow Nm$$

تمرین ۵ : رابطه فوق را اثبات نمایید.

توان تولیدی: توان تولید شده توسط مولد از روش زیر بدست می آید:

$$P_e = e_{ind\times Ia} = K_a\Phi\omega_m I_a = T_{in}\omega_m = P_m$$

تمرین ۶:



یک ماشین dc چهار قطب دارای یک آرمیچر به شعاع 12.5 cm و یک طول مؤثر 25 cm است. قطب‌ها 75% از سطح آرمیچر را می‌پوشانند. مجموعه سیم‌پیچ آرمیچر از 33 پیچه و هر پیچه از 7 دور سیم تشکیل شده است. پیچه‌ها در 33 شکاف جای داده شده‌اند. چگالی شار متوسط زیر هر قطب 0.75 T است.

۱. اگر آرمیچر همپوش - پیچ باشد،

الف. ثابت آرمیچر را معین کنید.

ب. ولتاژ آرمیچرالقا شده وقتی که آرمیچر با سرعت 1000 rpm بچرخد.

پ. جریان در پیچه و گشتاور تولیدی وقتی جریان آرمیچر 400 A است را به دست آورید.

ت. توان تولیدی به وسیله آرمیچر را تعیین نمایید.

۲. اگر آرمیچر موج – پیچ، بخش‌های (الف) تا (ت) فوق را تکرار کنید. جریان مجاز پیچه‌ها برابر با آرمیچر همپوش - پیچ فرض می‌شود.

حل

۱. ماشین dc ، همپوش - پیچ :

الف.

$$K_a = \frac{Np}{\pi a} = \frac{Z}{2a}\frac{p}{\pi}$$

$$Z = 2 \times 33 \times 7 = 462, \quad a = p = 4$$

$$K_a = \frac{462 \times 4}{2 \times 4 \times \pi} = 73.53$$

ب.

$$\text{سطح قطب}, A_p = \frac{2\pi \times 0.125 \times 0.25 \times 0.75}{4}$$

$$= 36.8 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

$$\Phi = A_p \times B = 36.8 \times 10^{-3} \times 0.75$$

$$= 0.0276\ \text{Wb}$$

$$E_a = K_a \Phi \omega_m = 73.53 \times 0.0276 \times \frac{1000}{60}$$

$$\times 2\pi = 212.5\ \text{V}$$

پ.

$$I_{coil} = \frac{I_a}{a} = \frac{400}{4} = 100\ \text{A}$$

$$T = K_a \Phi I_a = 73.53 \times 0.0276 \times 400 = 811.8\ \text{N} \cdot \text{m}$$

ت.

$$P_a = E_a I_a = 212.5 \times 400 = 85.0\ \text{kW}$$

یا

$$= T\omega_m = 811.8 \times \frac{1000}{60} \times 2\pi = 85.0\ \text{kW}$$

۲. ماشین dc ، موج - پیچ :

الف.

$$K_a = \frac{462 \times 4}{2 \times 2 \times \pi} = 147.06$$

$$\omega_m = \frac{1000}{60} \times 2\pi = 104.67\ \text{rad/sec}$$

ب.

$$E_a = 147.06 \times 0.0276 \times 104.67 = 425\ \text{V}$$

پ.

$$I_{coil} = 100\ \text{A}$$

$$I_a = 2 \times 100 = 200\ \text{A}$$

$$T = 147.06 \times 0.0276 \times 200 = 811.8\ \text{N} \cdot \text{m}$$

ت.

$$P_a = 425 \times 200 = 85.0\ \text{kW}\ \blacksquare$$

تمرین ۷ :

آرمیچر یک ماشین DC از ورقه های مواد فرومغناطیسی تشکیل شده و دارای شعاع ۰/۱۲ متر و طول موثر ۰/۲۵ متر می باشد. سیم پیچی آن دارای ۳۷ پیچک ٦ دوری بوده و در ۳۷ شیار جای گزفته اند. تعداد قطبهای ماشین ٤ عدد می باشد و ۷۰٪ محیط آرمیچر را می پوشاند. چگالی شار متوسط زیر هر کفش قطب ۰/۸ تسلا می باشد.

الف) اگر نوع سیم پیچی آرمیچر از نوع حلقوی (LAP WINDING) باشد مطلوبست:

۱- محاسبه ضریب ثابت ماشین (K_a) .

۲- نیروی محرکه الکتریکی القایی را وقتیکه آرمیچر با سرعت ۲۰ دور بر ثانیه می چرخد را محاسبه نمایید.

۳- گشتاور ماشین وقتیکه جریان آرمیچر ۸۰۰ آمپر است را محاسبه نمایید.

۴- بندهای ۱ تا ۳ را برای وقتیکه سیم بندی آرمیچر از نوع موجی است را تکرار کنید.

تمرین ۸:

در یک موتور DC که آرمیچر آن سیم پیچ موجی دارد در صورتیکه تعداد قطبها را تغییر دهیم :

۱- گشتاور به نسبت قطبها افزایش می یابد.

۲- گشتاور به نسبت قطبها کاهش می یابد.

۳- گشتاور ثابت می ماند.

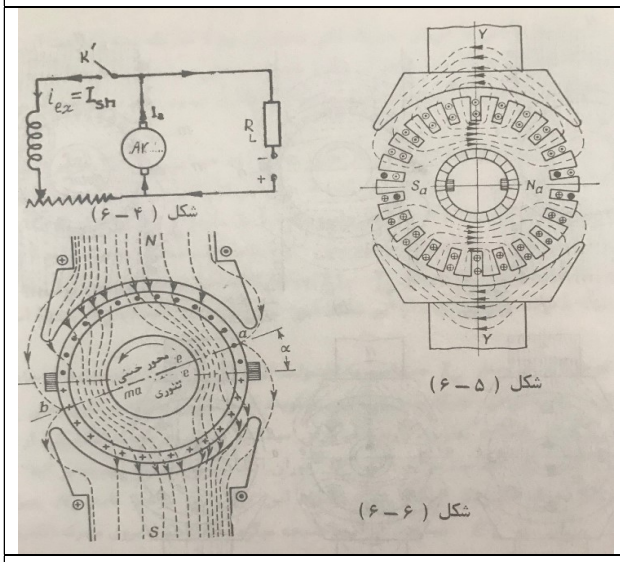
۴- گشتاور به تعداد قطبها بستگی ندارد.

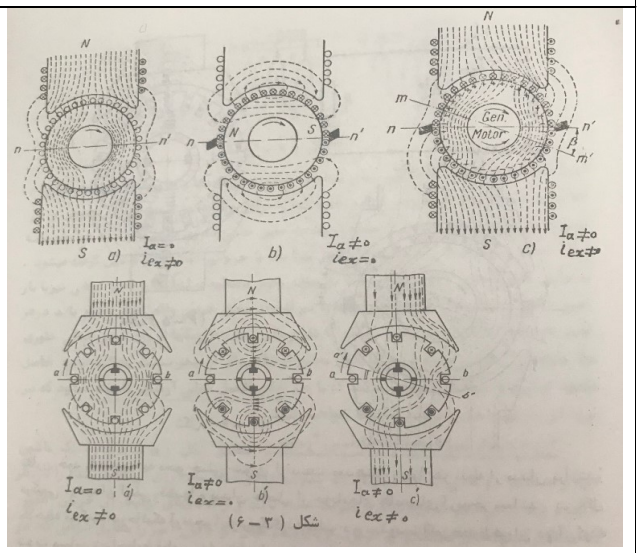
۵-

تمرین ۹:

به تمرین ۸ در صورتیکه آرمیچر دارای سیم بندی از نوع حلقوی باشد پاسخ دهید.

٤-عکس العمل آرمیچر در ماشینهای DC (Armature Reaction in DC Machines)





This guide covers armature reaction in DC Machine (Generator and Motor) and how to correct it using Brush Shift, Compensating Winding, and Interpoles.

An armature, when rotating in its magnetic field, can have varying values of current flowing in its coils. The current can vary from zero at no load to the designed maximum, the actual value depending on the size of the machine. The armature, in carrying the current, sets up a magnetic field of its own. This field combines with the main field, producing a resultant field, and the process is called **armature reaction**.

The resultant field is twisted in either the direction of rotation or against it, depending on whether the machine is being used as a **generator** or a **motor**.

Main Field Distortion

A generator that has no load on the armature has no current flowing in the armature conductors and consequently there is only one magnetic field, that intentionally provided for the armature conductors to cut and generate a voltage. This is shown in **Figure 1(a)**, with the magnetic field leaving the North Pole, crossing the air gap to the armature core, and eventually entering the South Pole on the opposite side.

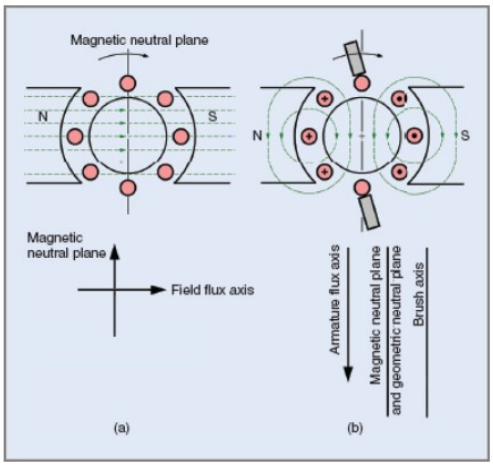


Figure 1 Magnetic fields in a DC armature

Its direction is parallel to the center line or axis through the field pole. At 90°E to the polar axis is the geometrical neutral position. Under no-load conditions the geometrical neutral plane is also accepted as the magnetic neutral position or plane.

Unlike the geometric neutral, which is in a fixed position, the magnetic neutral position can be varied by a shift in the magnetic field. The relative positions of the planes are shown in **Figure 1 (b)**.

Figure 1(b) also shows the field created in a two-pole armature by load current flowing through the armature conductors. This field is set up at right angles to the main field and parallel to the magnetic neutral position. Taking each field in isolation, the relative directions are in either the horizontal or the vertical planes.

In a practical case the armature field can only be present if the main field is also present, so there are actually at least two magnetic fields present when the machine is on load. The end result is a combination of these fields into one resultant field, whose direction will depend on the relative strengths of each field.

The shift in the main field axis is illustrated in **Figure 2(a**). It has shifted ahead in the direction of rotation and has become more concentrated at the trailing pole tips, with a consequent weakening of the field strength at the leading pole tips.

Figure 2(c) shows the vector approach for determining a direction of the resultant field, while **Figure 2(b)** shows the angle of shift for the magnetic neutral plane.

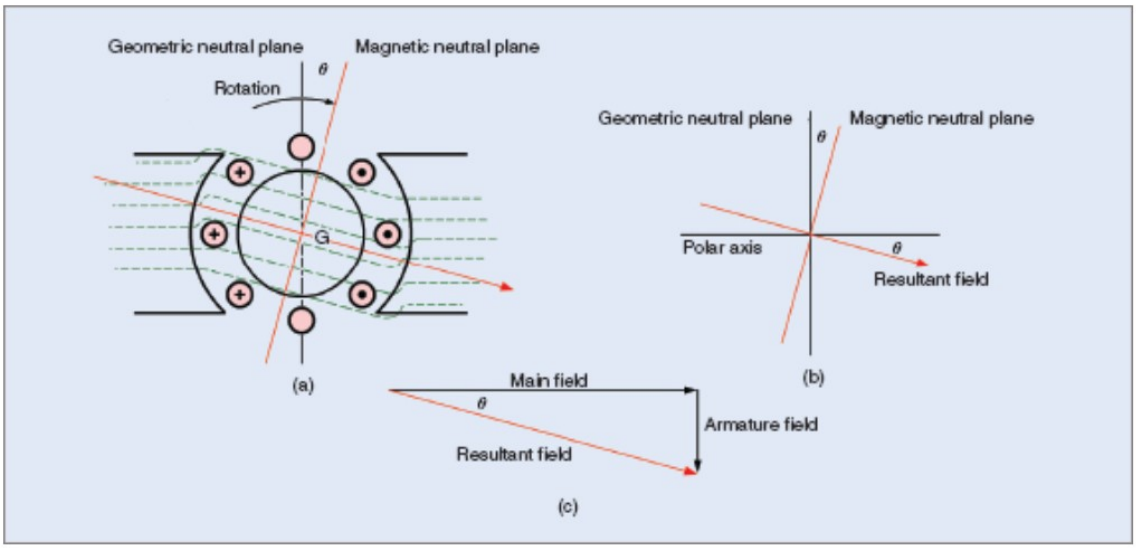


Figure 2 Field shift due to armature reaction in a DC generator

Figure 3 shows the shift in the main field for **a DC motor**. For the same direction of rotation, the shift is in the opposite direction to that of the generator (i.e. against the rotation of the armature).

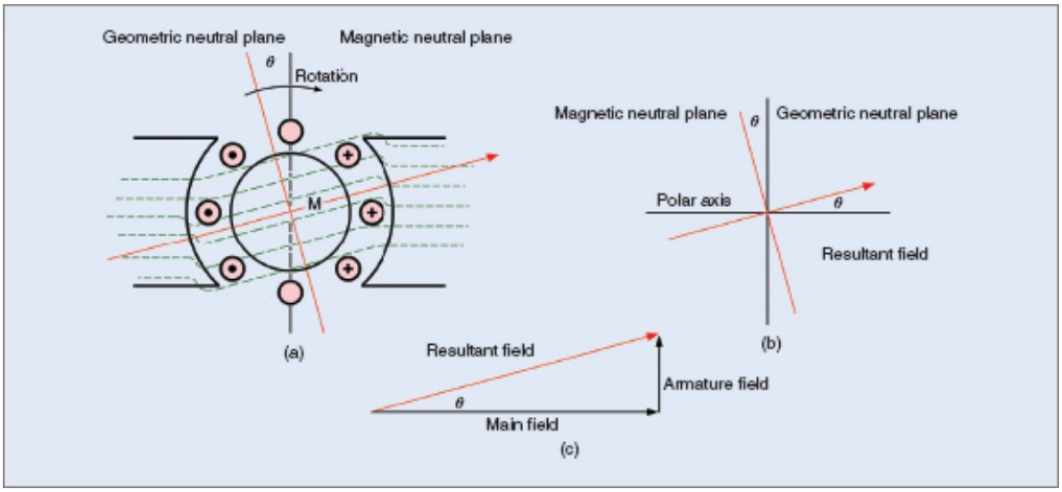


Figure 3 Field shift due to armature reaction in a DC motor

Whether the machine is being operated as a generator or a motor, the result of loading the machine is to shift the field flux to a new position. The amount of shift depends on the size of the load applied.

The brushes are placed nominally in the magnetic neutral plane at full load to obtain the best commutation performance. While they are not in the magnetic neutral plane at light loads, less current is flowing and the sparking is less.

At no load, which actually means just the load caused by the rotational losses, less current is flowing and the sparking at the brushes is less if the brushes are misaligned. Therefore the brushes are normally set for full load field distortion. This is fine for constant load machines and those with only a small variation in load.

سوال مهم : چگونه عکس العمل آرمیچر را تصحیح یا خنثی نماییم.

ماشینهای DC به جهت کنترل پذیری خوبی که دارند در صنعت مورد استقبال هستند و بایستی معایب آنها بر طرف گردد. یکی از این معایب عکس العمل آرمیچر و در نتیجه جابجایی محور خنثی (محل قرار گرفتن جاروبکها) می باشد . و نتیجه نهایی آن ایجاد جرقه بین تیغه های کموتاتور و جاروبکها خواهد شد.

راه های تصحیح این مشکل:

۱-انتقال جاروبک

Correction of Armature Reaction

DC machines are often used for their inherent ability to run over a wide range of speeds and loads. Therefore other methods of controlling brush arcing are often necessary. For reliability, a DC machine must have good commutation to extend the working life of both the commutator and the brushes.

A)

Brush Shift

The simplest method is to shift the brushes into the new position of the magnetic neutral plane each time the load is altered. It is a satisfactory method for loads that are relatively constant or change only occasionally. Where loads are subject to sudden or rapid change, this method is unsatisfactory.

Brush shifting is also employed on generators (or motors) that change direction, as was the case with old railway carriage generators that were driven in whichever direction the carriage went.

۲-سیم پیچ جبرانگر

Compensating Windings

Correctly designed and installed compensating windings are arguably the most successful method of minimizing armature reaction; but alas, the most expensive. Compensating windings are coils wound onto the main field poles (see **Figure 4(a)).**

Compensating windings are connected in series with the armature so that the load current in the coils is always equal to the armature current and therefore produce a magnetic field opposing the field set up by the armature.

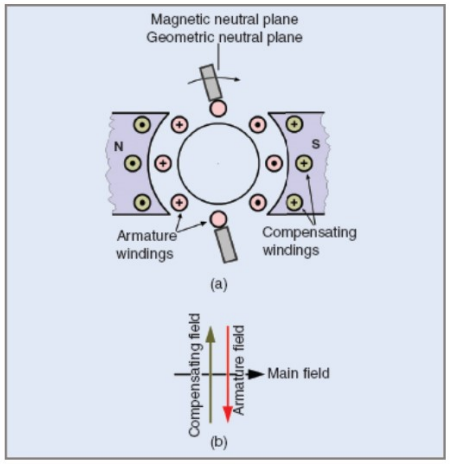


Figure 4 Compensating windings

۳-استفاده از قطبهای کمکی

Interpoles

Interpoles are smaller than the main field poles, placed between the main field poles and are connected in series with the armature. The number of turns multiplied by the armature current gives the necessary ampere-turns to produce a magnetic field equal in strength to that of the armature cross-field.

Interpoles are shown in **Figure 5(a)** and illustrate the difference in size compared with the main field poles.

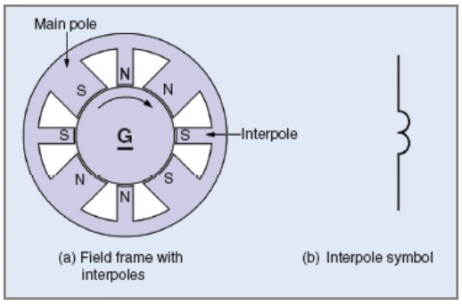


Figure 5 Location of interpoles

To cancel out the effects of armature reaction, the interpoles must be connected to give a specific polarity with respect to the main poles on either side. The connection is unaffected by the direction of rotation, as long as the interpoles and armature are treated as one, that is, direction reversal is achieved by changing the polarity of either the fields or the armature/interpole group.

Once the correct connection has been found, that one connection will remain constant no matter what use the machine is put to, motor or generator.

نحوه عملکرد و تغذیه قطبهای کمکی که مابین قطبهای اصلی قرار می گیرند در این شکل نشان داده شده است.

Figure 6 shows the polarities of the interpoles for a motor or generator being driven clockwise.

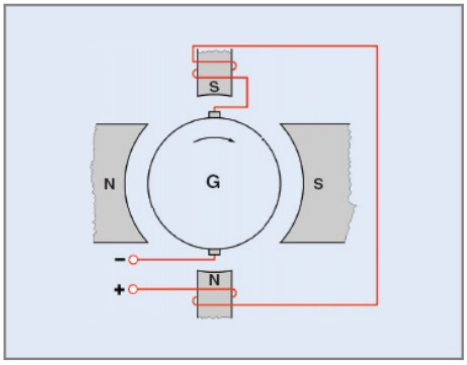
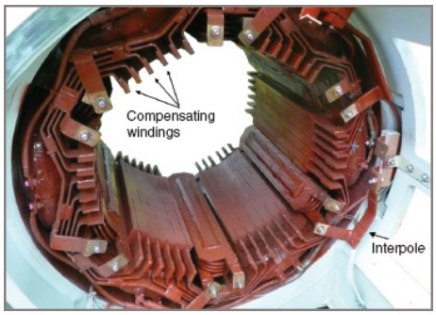
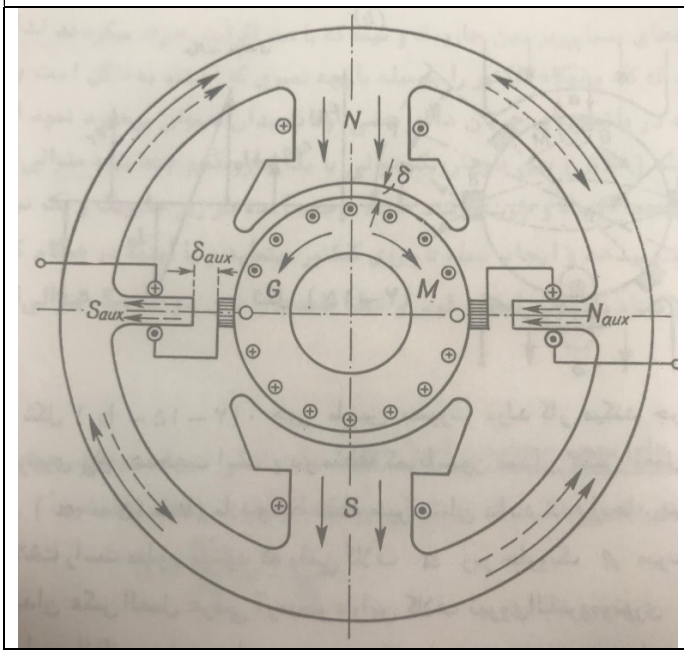


Figure 6 Interpole connections

Interpoles are very effective for minimizing the effects of armature reaction, being cheaper than compensating windings but not as effective. For rapidly fluctuating loads, compensating windings are far more effective than interpoles, but in very large machines both methods may be employed. This is shown in **Figure 7**.  **Figure 7** Part of a large DC motor showing the compensating windings and interpoles	**روش استفاده از قطبهای کمکی هم موثر و هم ارزان قیمتتر نسبت به سیم پیچ جبرانگر است. ولی در جایی که تغییرات بار با سرعت بالا داشته باشیم استفاده از سیم پیچ جبرانگر بسیار موثر تر است.** **در ماشینهای با قدرت بالا از هر دو روش استفاده می گردد.** چون در این ماشینها مقدار جرقه بسیار بالا است.
 	**تمرین ۱۰:** **با مطالعه دقیق مطالب فوق عکس العمل آرمیچر را به طور مشروح تشریح نموده و روشهای جبرانسازی و مشکلاتی که بوجود می آورد را لیست نمایید.**

۵-کموتاسیون در ماشینهای DC

۱-تعریف کموتاسیون

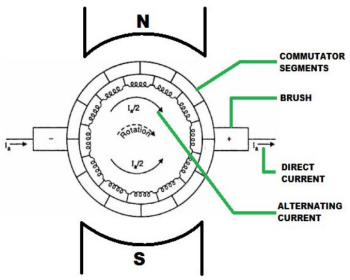
وقتی یک سیم پیچ زیر قطب مثلا شمال است جریان در یک طرف جاری است. وقتی زیر قطب جنوب قرار می گیرد جریان در جهت دیگر جاری می گردد. در واقع از زمانیکه پیچک از زیر قطب شمال در حال خارج شدن است توسط جاروبک اتصال کوتاه می گردد و جریان آن از I+ شروع به کاهش می کند تا وقتیکه به طور کامل در منطقه خنثی مغناطیسی قرار می گیرد جریان آن صفر گردیده و بعد در ناحیه قطب جنوب قرار می گیرد و درجهت عکس جریان آن رو به افزایش گذاشته تا وقتی کاملا زیر قطب جنوب قرار گرفت جریان آن به I- می رسد.

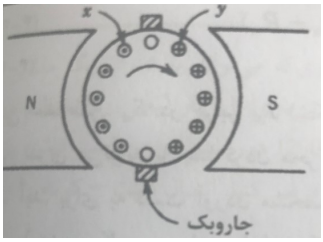
۱-کموتاسیون ایده آل (منحنی B)

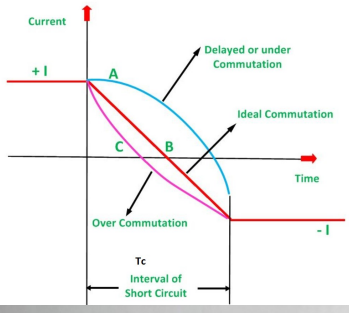
۲-زیر کموتاسیون (منحنی A)

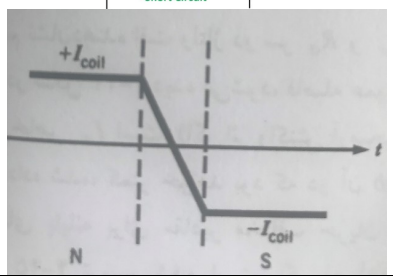
۳-فوق کموتاسیون(منحنی C)

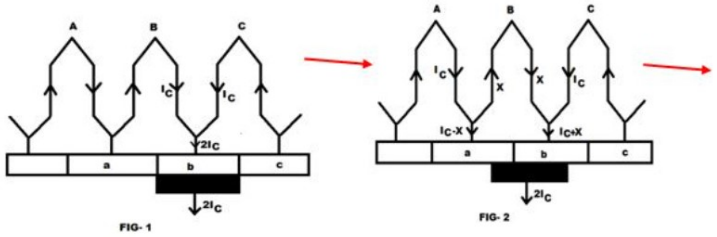
٤-T_C زمان کموتاسیون

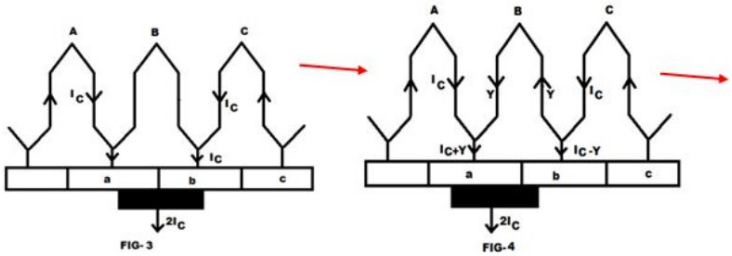


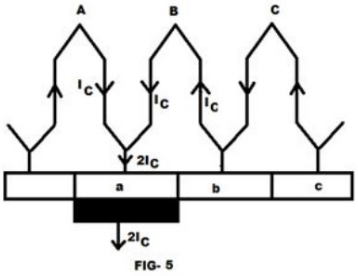


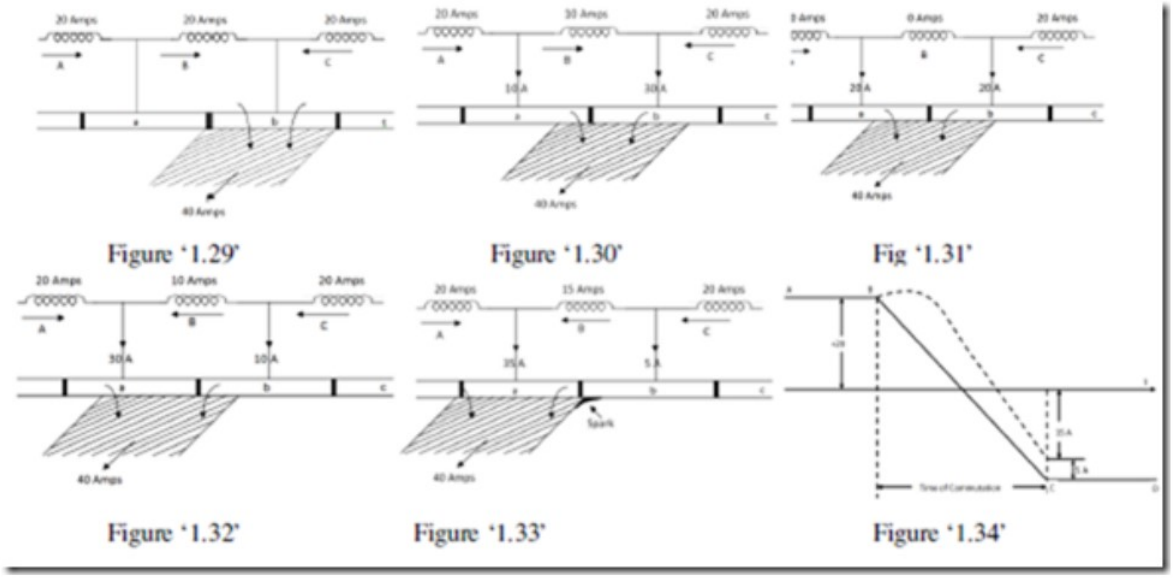












توجه گردد :

۱- در ماشینهای DC لازم است تمهیداتی اتخاذ گردد تا عمل کموتاسیون هر چه بهتر انجام گردد.

۲- به عبارت دیگر کموتاسیون به کموتاسیون ایده آل نزدیک تر باشد.

مشکل مهم نداشتن یک کموتاسیدن ایده آل چیست؟

مهمترین مشکل کموتاسیون غیر ایده آل ایجاد جرقه بین جاروبک ها و تیغه های کموتاتور می باشد.

بایستی ماشین را طوری طراحی و بسازیم که تا حد ممکن جرقه حاصل نشود و یا نهایتا بسیار ضعیف باشد.

توجه گردد که ایجاد جرقه بین جاروبکها و تیغه های کموتاتور ممکن است منشاء مکانیکی داشته باشد یا منشاء الکتریکی.

۱- منشاء مکانیکی:

منشاء مکانیکی در اثر عدم تماس خوب و کامل بین جاروبک و تیغه های کموتاتور حاصل می گردد.

۲- منشاء الکتریکی

عدم صفر شدن جریان کلاف در حال کموتاسیون هنگام خارج شدن از اتصال کوتاه و در نتیجه به صفر رسیدن سطح تماس بین جاروبک و تیغه کموتاتور در حالیکه هنوز جریان از کلاف در حال کموتاسیون به طرف جاروبک به صفر نرسیده است. همچنین عامل دیگر را می توان ولتاژ زیاد بین دو تیغه مجاور هم در کلکتور دانست که خودالقایی کلافهای آرمیچر آنرا بوجود می آورد.

نتیجه نهایی آنکه : دو عامل اصلی جلو گیری کننده از اینکه کموتاسیون ایده آل اتفاق بیفتد. ۱-عکس العمل آرمیچر ۲-ولتاژ واکنشی (Reaction Voltage) $V_L = Ldi/dt$	برای بهبود کموتاسیون لازم است: ۱- مشکل عکس العمل آرمیچر را با توضیحات مفصلی که ارایه شد حل کنیم. ۲- ولتاژ راکتانسی را حل نماییم
محاسبات مربوط به ولتاژ راکتانسی: $V_L = L\frac{(+I-(-I))}{Tc}$ $V_L = L\frac{2I}{Tc}$ $T_c = \frac{b}{v}$ در این رابطه b پهنای جاروبک و υ سرعت محیطی کلکتور می باشد. اگر D قطر کلکتور باشد و N عده دور در دقیقه کلکتور باشد در این صورت: $T_C = \frac{60b}{\pi DN}$	