Principles of Mechatronic Systems
مبانی سیستم های مکاترونیکی

موتورهای DC & AC

By: Reza Tikani
Mechanical Engineering Department
Isfahan University of Technology

عملگرهای پیوسته

عملگرهای پیوسته:

- ✓ موتورهای DC
- ✓ موتورهای AC
- ✓ موتورهای القائی
- ✓ موتورهای سنکرون
- ✓ عملگرهای هیدرولیکی و نیوماتیکی

عملگرهای پیوسته

- ✓ تقسیم بندی ماشینهای الکتریکی

❖ از نظر نوع تبدیل
- موتور الکتریکی
- ژنراتور الکتریکی

(در ماشینهای الکتریکی فرایند تبدیل انرژی برگشت پذیر است.)

❖ از نظر نوع جریان الکتریکی
- جریان مستقیم DC
- جریان متناوب AC

عملگرهای پیوسته

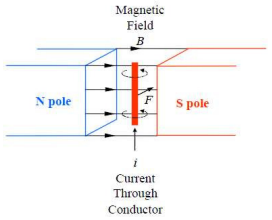
DC Motors

- The most common actuator in mobile robotics
- simple, cheap, and easy to use.
- come in a great variety of sizes, to accommodate different robots and tasks.

www.cs.uoca.edu

عملگرهای پیوسته

اصول عملکرد موتور DC:



$$F = Bil$$

B - Flux density

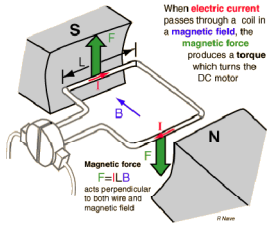
i - Current through the conductor

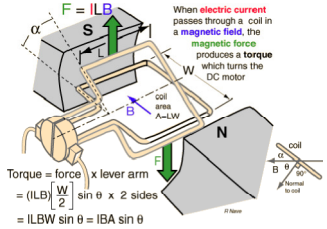
l - length of the conductor

www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

اصول عملکرد موتور DC:

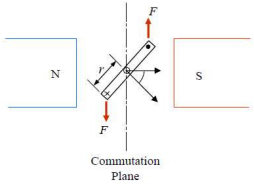




http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html

عملگرهای پیوسته

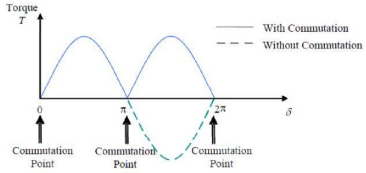
اصول عملکرد موتور DC:

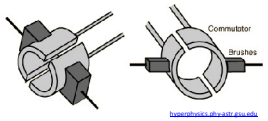


$$T = F \times 2r \sin\delta$$

$$T = Bi_a l \times 2r \sin\delta$$

$$T = Ai_a B \sin\delta$$



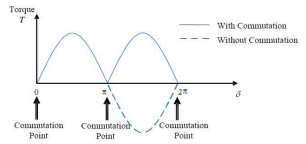


hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

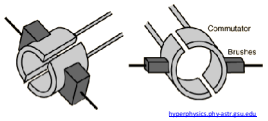
www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

اصول عملکرد موتور DC:



www.ubc.com



hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

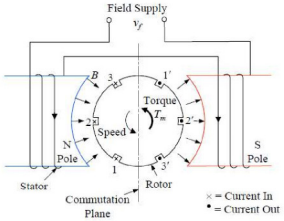
عملگرهای پیوسته

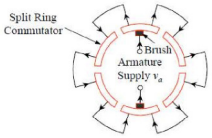
اصول عملکرد موتور DC:

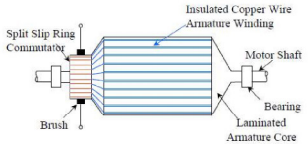
www.LearnEngineering.org

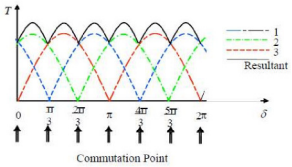
عملگرهای پیوسته

اصول عملکرد موتور DC:







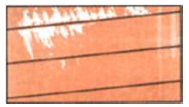


www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

معایب وجود جاروبک در موتور:

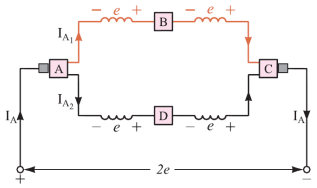
سایش، بار مکانیکی، گرم شدن در اثر اصطکاک، جرقه زدن، اکسید شدن و ...

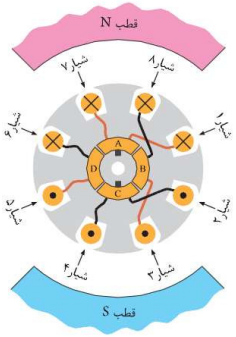


http://ee.lamar.edu/gleb/index.htm

عملگرهای پیوسته

سیم پیچی در موتورهای DC:





با گـردش رتور و قرار گرفتـن جاروبک‌ها در مقابل تیغه‌هـای B و D نحوه سـری و موازی شـدن کلاف و تقسیم جریان را بررسی کنید.

ماشین های الکتریکی DC. مولف: امیرحسین ترکمانی

عملگرهای پیوسته

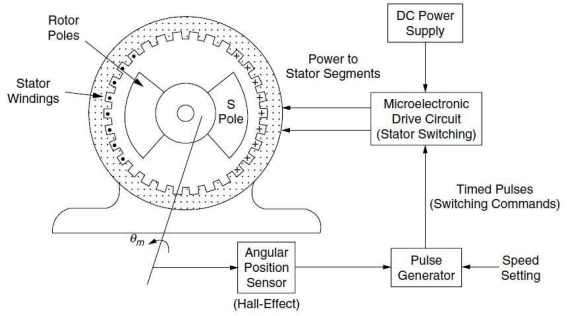
موتورهای DC آهنربای دائمی بدون جاروبک:

Brushless DC Motors

عملگرهای پیوسته

موتورهای DC آهنربای دائمی بدون جاروبک:

Brushless DC Motors



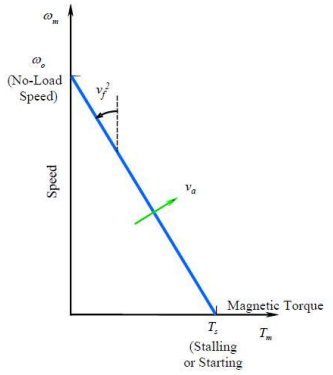
عملگرهای پیوسته

روابط حاکم بر موتورهای DC:

$$v_f = R_f i_f \qquad v_a = R_a i_a + v_b$$

$$\frac{R_a R_f^2}{kk' v_f^2} T_m + \omega_m = \frac{R_f v_a}{k' v_f}$$

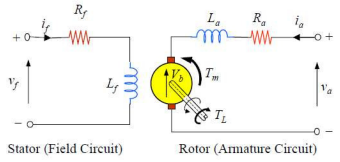
$$\frac{\omega_m}{\omega_o} + \frac{T_m}{T_s} = 1$$

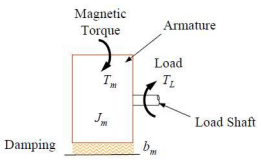


$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_L - b_m \omega_m$$

عملگرهای پیوسته

روابط حاکم بر موتورهای DC:





$$F = Bil \quad \Rightarrow \quad T_m = k i_f i_a$$
$$v_b = Blv \quad \Rightarrow \quad v_b = k' i_f \omega_m$$

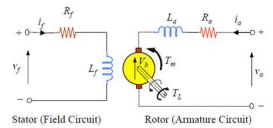
$$v_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt}$$

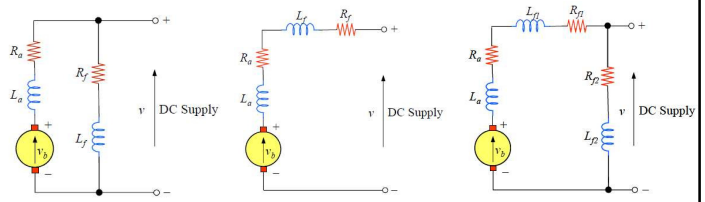
$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + v_b$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_L - b_m \omega_m$$

عملگرهای پیوسته

موتورهای **DC** با سیم پیچ های میدان، بسته به نحوه اتصال سیم پیچ های میدان و سیم پیچ های آرمیچر، به انواع تحریک مستقل سری، شنت، مرکب و تحریک مجزا تقسیم بندی می شوند(استخراج روابط).





Shunt Wound Motor Series Wound Motor Compound Wound Motor

عملگرهای پیوسته

توان خروجی در موتور DC:

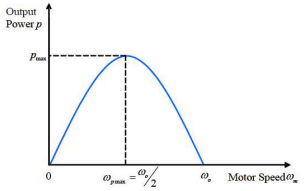
$$p = T_m \omega_m \qquad \frac{\omega_m}{\omega_o} + \frac{T_m}{T_s} = 1$$

$$p = T_s \left[1 - \frac{\omega_m}{\omega_0} \right] \omega_m$$

ماکزیمم مقدار این رابطه به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{dp}{d\omega_m} = T_s(1 - \frac{\omega_m}{\omega_o}) - \frac{T_s}{\omega_o}\omega_m = T_s(1 - 2\frac{\omega_m}{\omega_o}) = 0$$

$$\omega_{\text{pmax}} = \frac{\omega_o}{2} \qquad p_{\max} = \frac{1}{4} T_s \omega_o$$

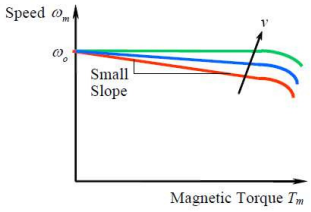


عملگرهای پیوسته

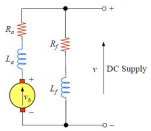
نمودارهای گشتاور-سرعت:

در **موتورهای شنت یا موازی** کمترین گشتاور آغاز و سرعت بی بار بسیار کمی دارد و دارای تنظیم سرعت خوبی است.

در این موتورها بدون توجه به بار اعمالی، سرعت تقریباً ثابتی دارند.



Shunt Wound Motor

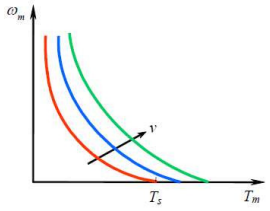


Shunt Wound Motor

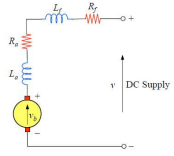
عملگرهای پیوسته

نمودارهای گشتاور-سرعت:

موتورهای سری بیشترین گشتاور راه انداز را تولید می کنند و سرعت بی باری بالایی دارند



Series Wound Motor

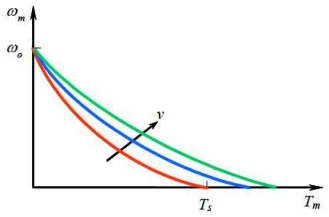


Series Wound Motor

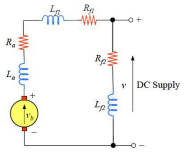
عملگرهای پیوسته

نمودارهای گشتاور-سرعت:

موتورهای مرکب از بهترین قابلیتهای موتورهای سری و موازی یعنی گشتاور آغاز بالا و تنظیم سرعت خوب بهره گرفته می شود.



Compound Wound Motor



Compound Wound Motor

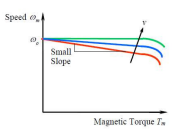
www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

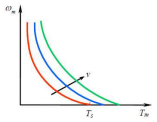
مقایسه:

Influence of the Winding Configuration on the Steady-State Characteristics of a DC Motor

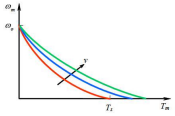
DC Motor Type	Field Coil Resistance	Speed Controllability	Starting Torque
Shunt-wound	High	Good	Average
Series-wound	Low	Poor	High
Compound-wound	Parallel high, series low	Average	Average



Shunt Wound Motor



Series Wound Motor



Compound Wound Motor

www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

مقایسه:

Influence of the Winding Configuration on the Steady-State Characteristics of a DC Motor

DC Motor Type	Field Coil Resistance	Speed Controllability	Starting Torque
Shunt-wound	High	Good	Average
Series-wound	Low	Poor	High
Compound-wound	Parallel high, series low	Average	Average

Comparison of dc Motor Winding Types

Winding Type	No-Load Speed ω_o	Starting Torque T_s
Shunt-wound	$\frac{R_f}{k'}$	$\frac{kv^2}{R_a R_f}$
Series-wound	∞	$\frac{kv^2}{(R_a+R_f)^2}$
Compound-wound	$\frac{R_{f2}}{k'}$	$\frac{kv^2}{R_a+R_{f1}}\left[\frac{1}{R_a+R_{f1}}+\frac{1}{R_{f2}}\right]$

عملگرهای پیوسته

مثال: یک موتور شنت ۲۳۰ ولت، دارای مقاومت آرمیچر **0.1** اهم است. این موتور با ولتاژ ۲۳۰ ولت در سرعت ۱۱۵۰ دور بر دقیقه کار می کند که در این حالت جریان عبوری از آرمیچر ۱۰۰ آمپر می باشد. حال اگر یک مقاومت یک اهم با آرمیچر سری شود و سیم پیچ میدان تغییری نکند و بار بگونه ای باشد که همان جریان ۱۰۰ اهم از آرمیچر کشیده شود، آنگاه سرعت محور، قدرت ورودی و نیروی محرکه چقدر است؟

عملگرهای پیوسته

کنترل موتورهای **DC**:

Armature Control

$$T_m = k_m i_a \qquad v_b = k'_m \omega_m$$

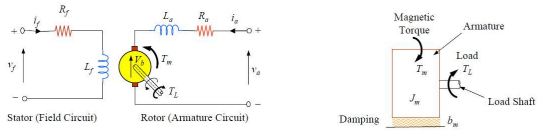
Mechanical

$$T_m - T_L = (J_m s + b_m)\omega_m$$

Electrical

$$v_a - v_b = (L_a s + R_a) i_a$$

$$\omega_m = \frac{k_m}{\Delta(s)} v_a - \frac{(L_a s + R_a)}{\Delta(s)} T_L \qquad \Delta(s) = (L_a s + R_a)(J_m s + b_m) + k_m k'_m$$

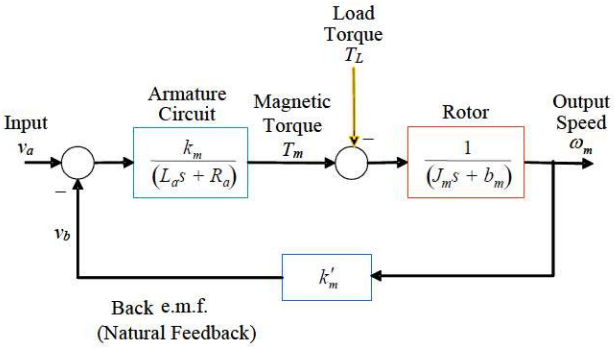


www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

کنترل موتورهای **DC**:

Armature Control



www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

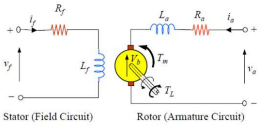
کنترل موتورهای **DC**:

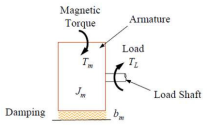
Field Control

$$T_m = k_a i_f \qquad v_f = (L_f s + R_f) i_f$$

$$T_m - T_L = (J_m s + b_m)\omega_m$$

$$\omega_m = \frac{k_a}{(L_f s + R_f)(J_m s + b_m)} v_f - \frac{1}{(J_m s + b_m)} T_L$$



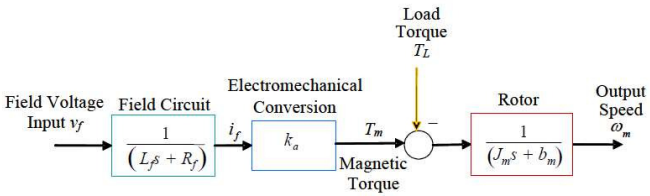


www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

کنترل موتورهای **DC**:

Field Control

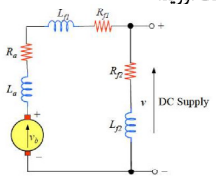


www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

تمرین ۱: یک موتور شنت ۱۰ اسب بخار، ۲۳۰ ولت، در حالت بی باری جریان آرمیچری برابر ۶ آمپر از منبع ۲۳۰ ولت دریافت می کند. در این حالت سرعت موتور ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و مقاومت آرمیچر ۰/۲ اهم است. در صورتیکه ولتاژ تغذیه ثابت و جریان آرمیچر ۳۷ آمپر گردد، سرعت و گشتاور الکترومغناطیسی خروجی چقدر است؟

تمرین ۲: معادلات حاکم بر موتور جریان مستقیم با تحریک ترکیبی را به دست آورید.

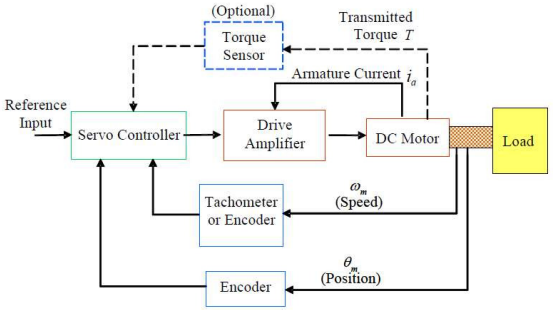


Compound Wound Motor

عملگرهای پیوسته

کنترل موتورهای DC:

- **Servomotor:**



www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

موتورهای AC:

موتورهای القایی سه فاز، پرکاربردترین موتورهایی هستند که برای به حرکت در آوردن چرخهای صنعت از آنها استفاده می‌شود. طراحی ساده و مستحکم قیمت ارزان هزینه نگه داری پایین و اتصال آسان به منبع سه فاز امتیازات اصلی موتورهای القایی هستند.

www.inverter-china.com

Applications

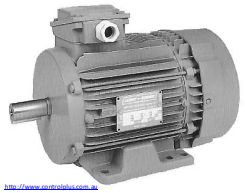
- Heavy duty - rolling mills, presses, elevators, cranes, material handlers
- Continuous speed – conveyors, mixers, extruders, pulping machines
- Household and industrial - refrigerators, pumps, compressors, fans

www.ubc.com

عملگرهای پیوسته

موتورهای AC:

موتورهای جریان متناوب به دو گروه تقسیم بندی می شوند: تکفاز و چند فاز که هر گروه به زیرگروه های موتورهای القایی و سنکرون تقسیم می شوند. از موتورهای تکفاز برای توانهای پایین استفاده می شود در حالیکه از موتورهای چندفاز برای توان های بالاتر استفاده می شود. موتورهای القایی از موتورهای سنکرون ارزانتر هستند و در صنعت بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.

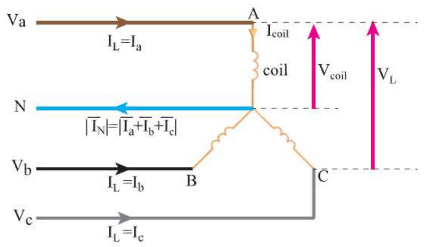


http://www.controlplus.com.au

عملگرهای پیوسته

موتورهای AC:

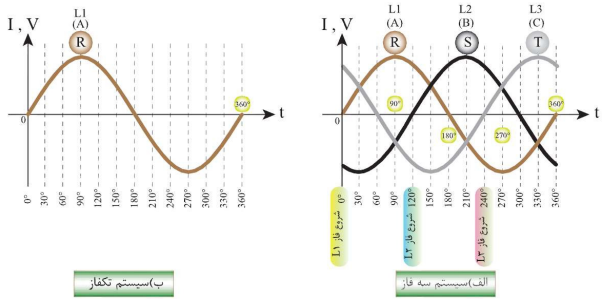
اتصال ستاره



عملگرهای پیوسته

موتورهای AC:

تفاوت سیستم تکفاز و سه فاز:



عملگرهای پیوسته

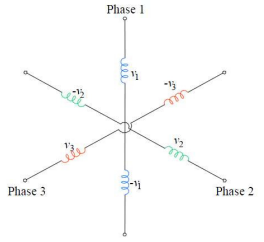
موتورهای القایی:

Rotating Magnetic Field

$$v_1 = a\cos\omega_p t$$

$$v_2 = a\cos\left(\omega_p t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

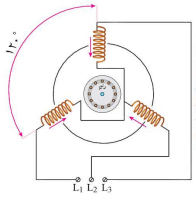
$$v_3 = a\cos\left(\omega_p t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

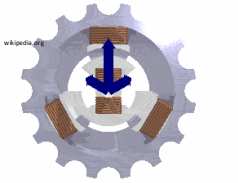


ω_p is the frequency of each phase of the ac signal (i.e., the line frequency)

عملگرهای پیوسته

نحوه عملکرد موتورهای القایی:





موتور القایی سه فاز دارای سه سیم پیچ با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم است که هر کدام به یکی از سه خط تغذیه متصل می شوند.

از آنجا که سه فاز تغذیه در زمانهای مختلف به مقدار حداکثر خود می رسند می توان اینگونه فرض کرد که میدان مغناطیسی به دور قطبهای استاتور می چرخد و در هر سیکل جریان یک دور کامل دور استاتور را طی می کند.

عملگرهای پیوسته

سرعت میدان دوار:

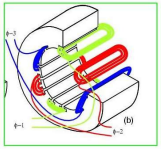
$$\omega_f = \frac{\omega_p}{n}$$

where

ω_p = frequency of the ac signal in each phase (i.e., line frequency)

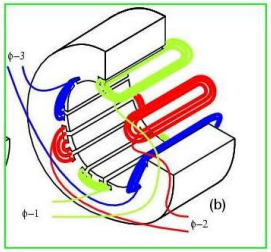
n = number of pairs of winding sets used per phase (i.e., number of pole pairs per phase)

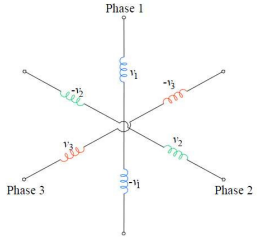
Note that when $n = 1$, there are two coils ($+ve$ and $-ve$) for each phase (i.e., there are two poles per phase). Similarly, when $n = 2$, there are four coils for each phase. Hence, n denotes the number of "pole pairs" per phase in a stator.



عملگرهای پیوسته

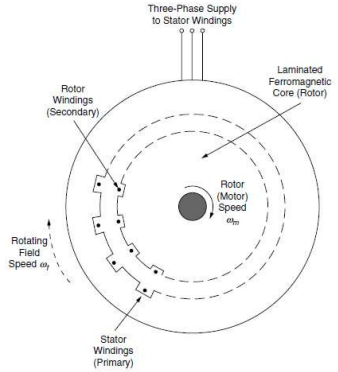
موتورهای القایی:





عملگرهای پیوسته

نحوه عملکرد:



عملگرهای پیوسته

نسبت لغزش:

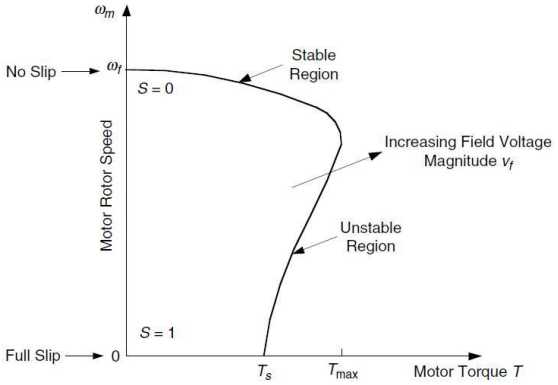
The fractional slip S for an induction motor is given by

$$S = \frac{\omega_f - \omega_m}{\omega_f}$$

Even when there is no external load, the synchronous operating condition (i.e., $S = 0$) is not achieved at steady state because of the presence of frictional torque, which opposes the rotor motion.

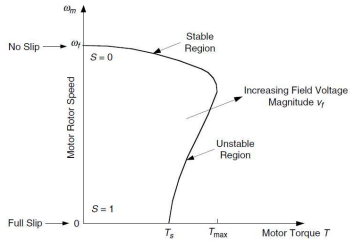
عملگرهای پیوسته

منحنی گشتاور- دور در موتورهای القایی:



عملگرهای پیوسته

منحنی گشتاور- دور در موتورهای القایی:



- In the stable region of the characteristic curve, the induction motor is quite insensitive to torque changes; For this reason, an induction motor is relatively insensitive to load variations and can be regarded as a constant speed machine.
- If the rotor speed is increased beyond the synchronous speed (i.e., $S < 0$), the motor becomes a generator.

عملگرهای پیوسته

کنترل موتور القایی:

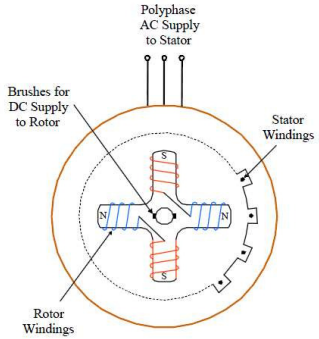
هر مبدل فرکانسی دارای دو بخش می‌باشد. ابتدا ولتاژ AC (۵۰ یا ۶۰ هرتز) در این دستگاه به ولتاژ DC تبدیل می‌شود سپس ولتاژ DC را به ولتاژ Ac ، با فرکانس قابل کنترل معمولا بین ۰Hz~۲۵۰ تبدیل می‌کند.

نکته ی قابل توجه اینکه ، تغییر فرکانس علاوه بر تغییر سرعت سنکرون بر روی ولتاژ القاء شده رتور و همچنین سایر کمیتهای مغناطیسی موتور و گشتاور نیز اثر می گذارد.

نمای ظاهری یک نمونه از مبدل فرکانسی کنترل کننده سرعت موتور القایی

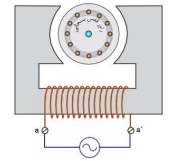
عملگرهای پیوسته

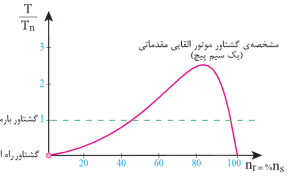
موتور القایی سنکرون:

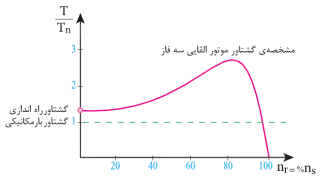


عملگرهای پیوسته

موتور القایی تکفاز:







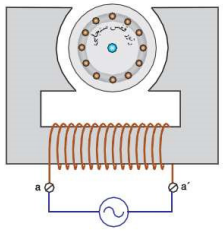
دانشگاه علم و صنعت ایران

عملگرهای پیوسته

موتور القایی تکفاز:

غالبا در ساختمانهای مسکونی ،کارگاه های کوچک، مغازه ها و فروشگاه ها از شبکه برق تکفاز استفاده می‌شود. بنابراین برای استفاده از وسایلی همچون کولر،یخچال ،ماشین لباسشویی ، پمپهای آب خانگی و .. دیگر وسایل مورد نیاز در زندگی امروزی به موتور تکفاز الکتریکی احتیاج می‌باشد.

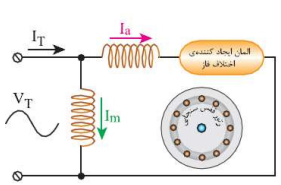
اگر با کمک یک وسیله راه‌انداز رتور این موتور در یک جهت، مثلا راستگرد، به چرخش درآید رتور در همان جهت به حرکت دورانی خود ادامه می دهد.

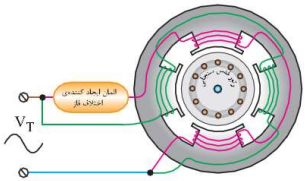


دانشگاه علم و صنعت ایران

عملگرهای پیوسته

موتور القایی تکفاز:





دانشگاه علم و صنعت ایران