

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Постояннотоковите (DC) двигатели се използват като основа на електрозадвижващи устройства, изискващи регулиране на честотата на въртене в широка граници: сложни металообработващи машини, системи за автоматизация, периферни устройства, робототехниката, хранителната индустрия, железопътен и морски транспорт, товароподемни машини и т.н.

Според изходната мощност постояннотоковите двигатели се разделят на:

- микромашини – до 500 W. Тези машини работят както на постоянен, така и на променлив ток с нормална и повишена (400 – 2000 Hz) честота;
- машини с малка мощност – от 0,5 до 10 kW. Тези машини работят както на постоянен, така и на променлив ток с нормална и повишена честота;
- машини със средна мощност – от 10 kW до няколко стотин киловата;
- машини с голяма мощност – повече от няколко стотин киловата.

Според честотата на въртене двигателите се делят на :

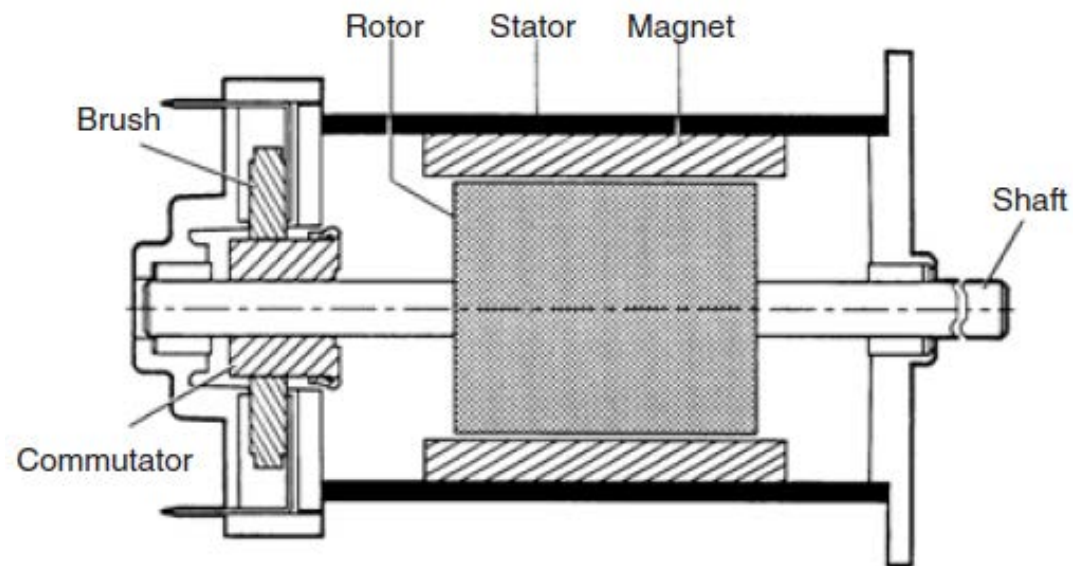
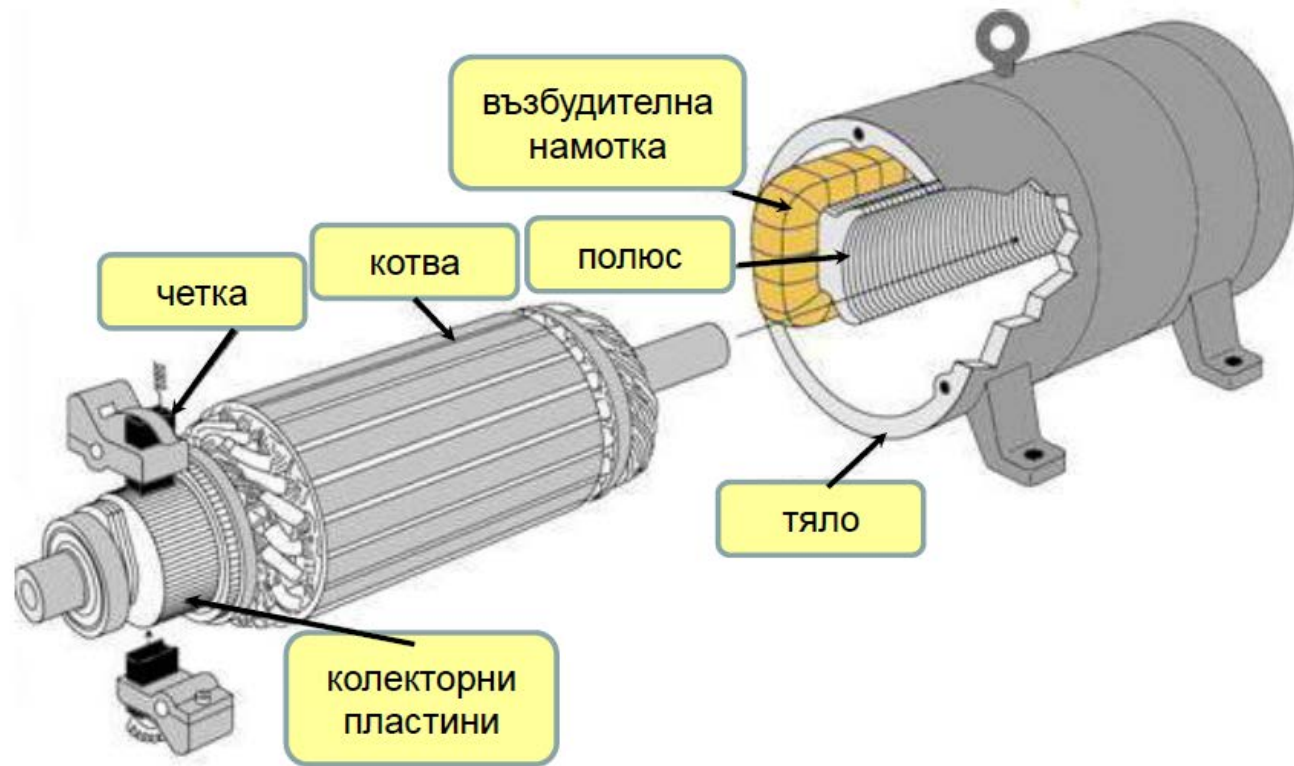
- бавно въртящи се - с честота на въртене до 300 об/min;
- средно бързо въртящи се – 300 – 1500 об/min;
- бързо въртящи се – 1500 – 6000 об/min;
- свръхбързо въртящи се – над 6000 об/min.

Микромашините работят от няколко стотин до 60000 об/min, машините с голяма и средна мощност – обикновено до 3000 об/min.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

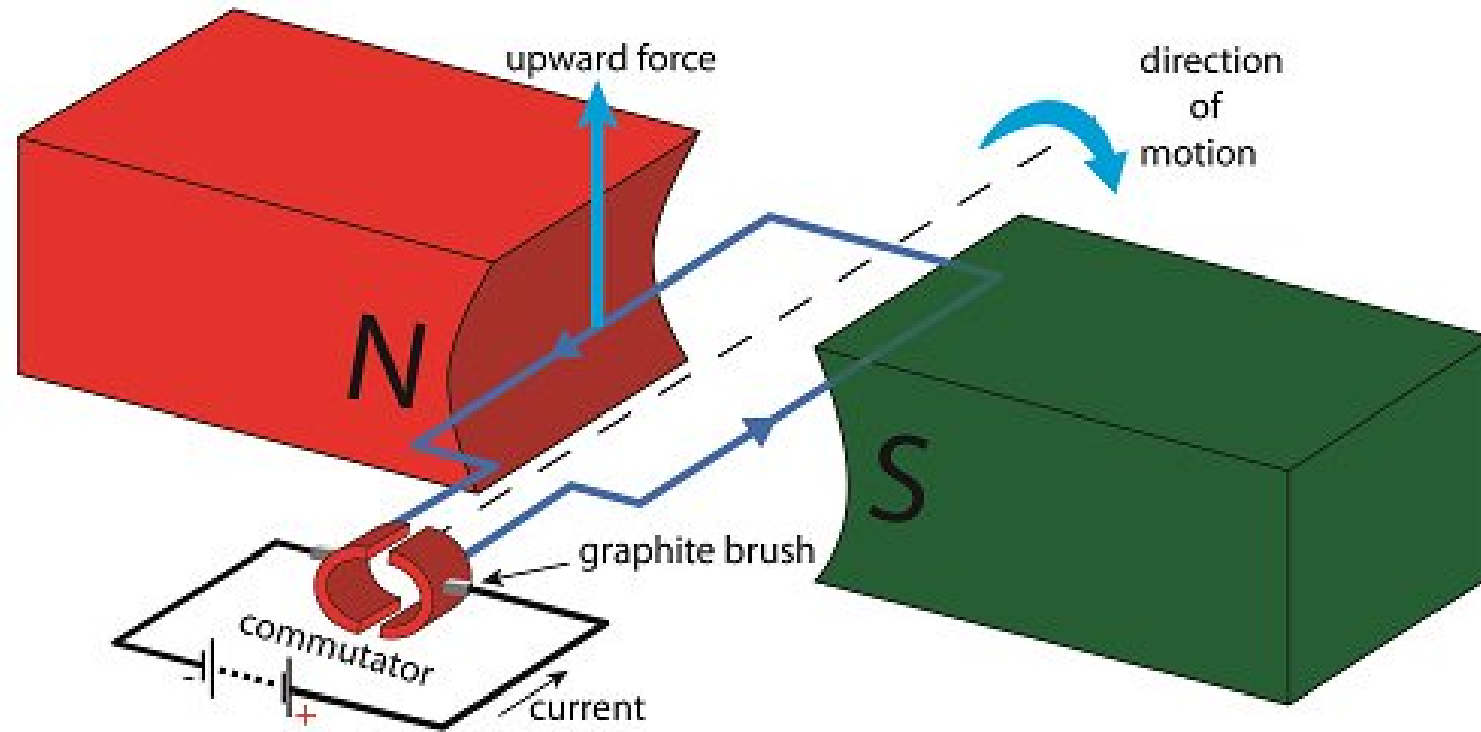
Всеки електрически двигател има активна и конструктивна част. Активната част се състои от магнитна система и електрическа система – намотки. В нея се извършва процесът на преобразуване на енергията. Конструктивната част е механична система, върху която са закрепени намотките и магнитната система. Тя ги защитава от действието на външната среда. Най-общо конструктивната част се състои от тяло, лагерни щитове, вал, лагери. Магнитната система е изработена от електротехническа стомана с голяма магнитна проницаемост за провеждане на основния магнитен поток. Във въртящата се електрическа машина има неподвижна част, наречена **статор**, и въртяща се част, наречена **ротор**. Статорът и роторът са коаксиални цилиндри, отделени с въздушна междина. От въздушната междина се определят до голяма степен електромагнитните характеристики на електрическата машина. Обикновено статорът е разположен отвън, а роторът отвътре. Частта от електрическата машина, в чиято намотка се индукира е.д.н. се нарича **котва**. Частта от електрическата машина, в която се възбужда магнитното поле, се нарича **индуктор**. В постояннотоковите двигатели индукторът е неподвижен (статор), а котвата е в ротора.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

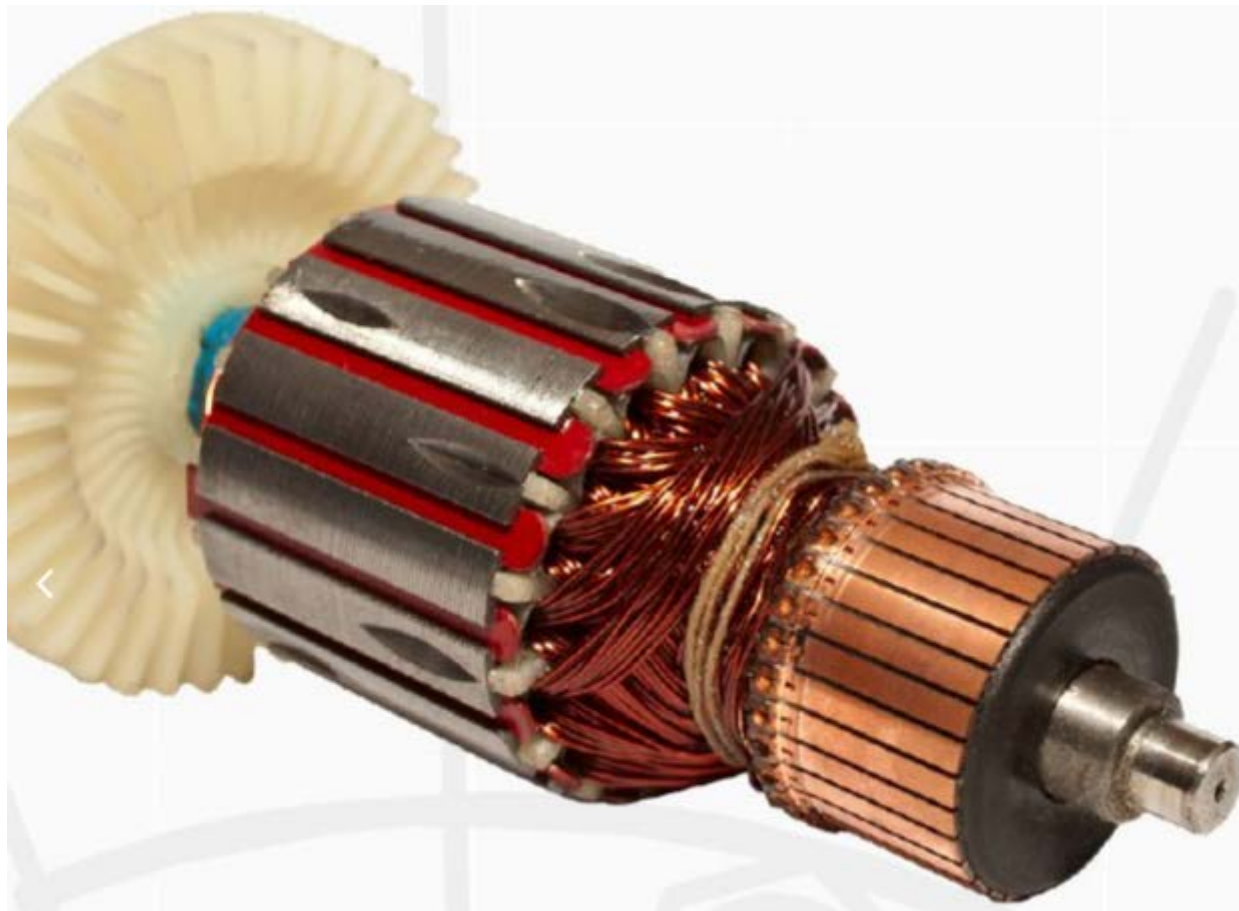


ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Simple Electric Motor



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ



Конструкция на ротор на постояннотоков двигател

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Принципът на действие на постояннотоковия двигател се основава на взаимодействието на магнитното поле на индуктора с електрическият ток, протичащ през котвата, при което възниква електромагнитна сила и се създава електромагнитен момент.

Когато към четките се включи източник на напрежение, през навивката ще протече ток. От взаимодействието на този ток и магнитното поле възникват електромагнитни сили. Те създават двигателен момент, който завърта навивката. За да се запази посоката на момента постоянна, когато активните проводници преминават от един полюс към друг, е необходимо в съответния момент да се промени посоката на тока в навивката.

Следователно предназначението на колектора е да преобразува постоянния ток (във вътрешната верига) в променлив (в навивката), за да се получи постоянен по посока момент. Под действие на електромагнитния момент навивката се върти, активните ѝ проводници пресичат магнитните линии на полето и в тях се индуцира е.д.н. Неговата посока е обратна на посоката на тока, поради което се нарича противо - е.д.н.

Основен недостатък на постояннотоковите двигатели е наличието на колекторно-четков апарат.

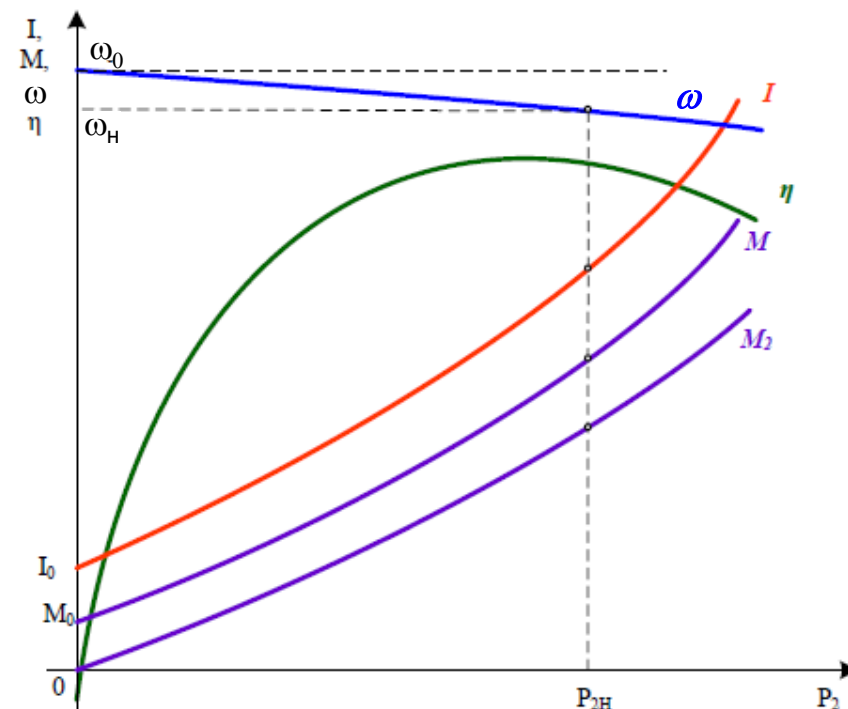
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Електрическите двигатели преобразуват електрическа енергия в механична. Полезната мощност, за която е изчислен един двигател, се нарича номинална мощност. Това е изходната механична мощност на вала на двигателя, която се предава на задвижвания работен механизъм.

Величините, които характеризират работата на електрическия двигател с номинална мощност са:

- номинално напрежение U_H ;
- номинален ток I_H ;
- номинален к.п.д. η_H ;
- номинална ъглова скорост ω_H .

Работните характеристики на двигателите за постоянен ток представляват зависимостите на ъгловата скорост ω , електромагнитният момент M (или полезният момент M_2), токът I_a , к.п.д. η от полезната мощност на вала P_2 при постоянно напрежение **$U_1=const.$** и постоянно съпротивление на възбудителната и котвената верига.



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Вход

$$P_{\text{elect}} = U \cdot I$$

Загуби

$$P_J = R_a \cdot I_a^2 + k \cdot I_0 \cdot \omega$$



Изход

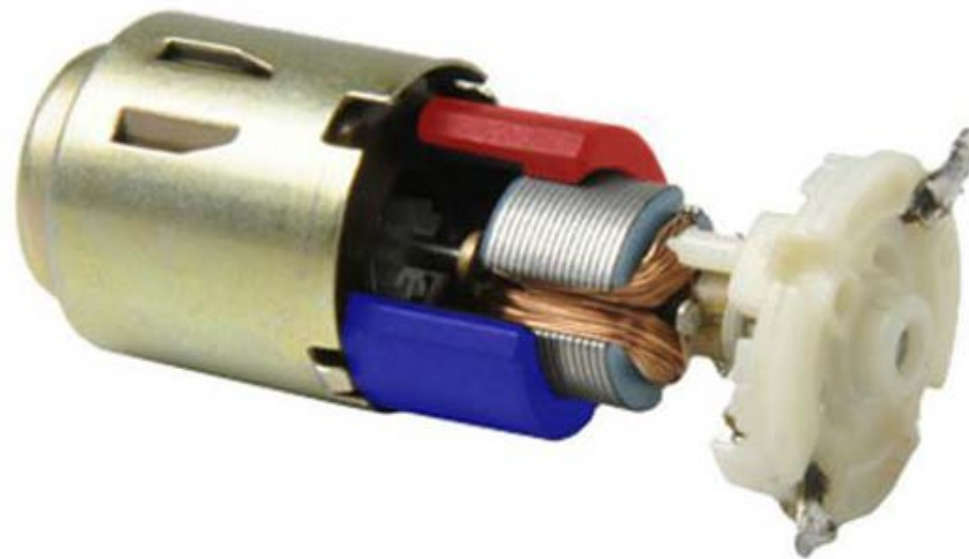
$$P_{\text{mech}} = M \cdot \omega$$

$$\eta = P_{\text{mech}} / P_{\text{elect}} \approx 90\%$$

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

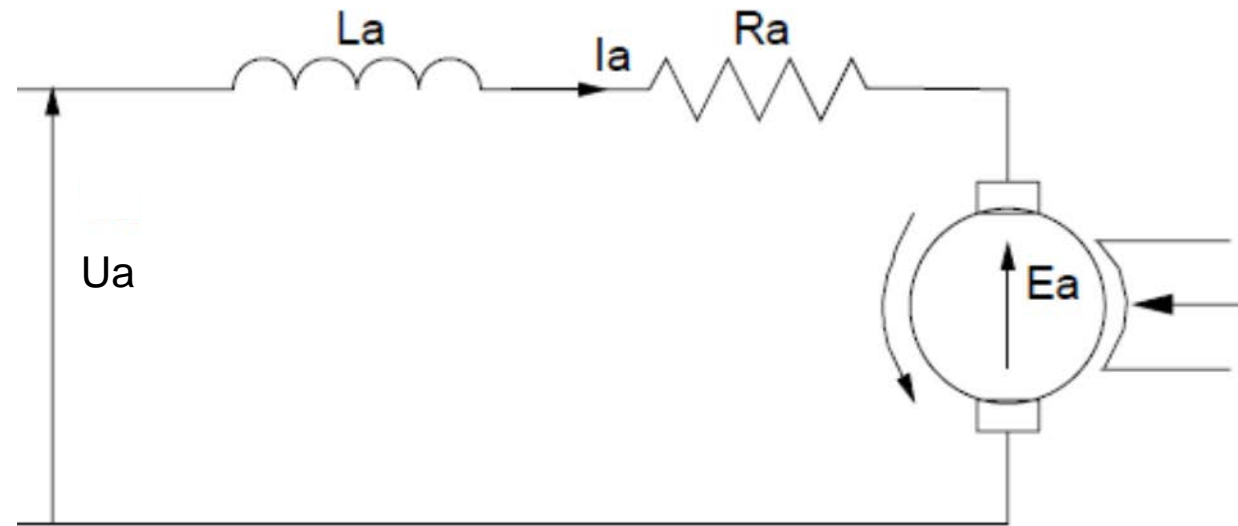
$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$t = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M - M_c}$$



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постоянен ток двигател



U_a е захранващото напрежение на котвата на двигателя, R_a и L_a са активното съпротивление и индуктивността на котвата, I_a е тока на котвата, а E_a е генерираното електродвижещо напрежение в котвата при нейното въртене в магнитното поле на възбудането.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постоянен ток двигател

За тази еквивалентна схема са валидни зависимостите:

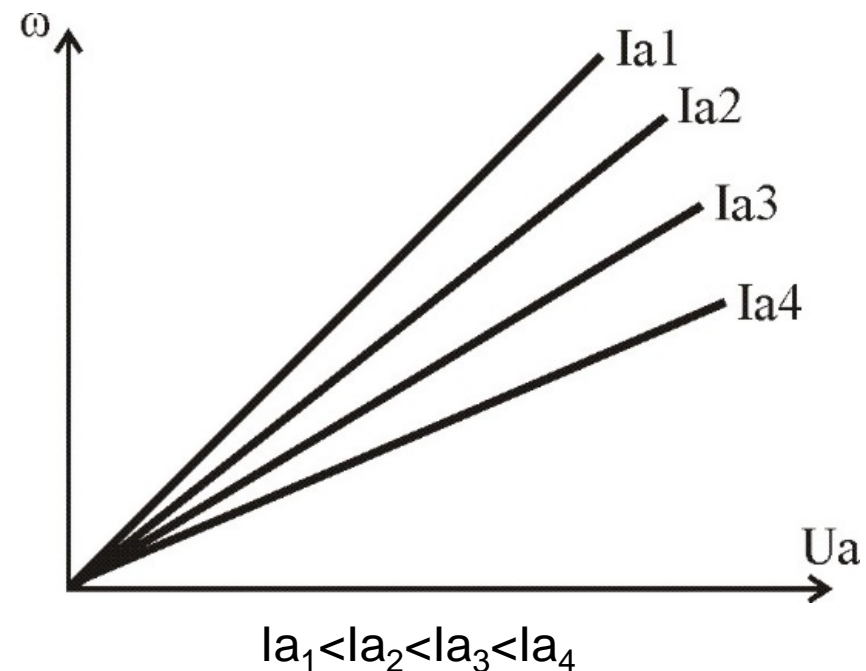
$$U_a = E_a + I_a R_a$$

$$E_a = c\Phi\omega$$

$$I_a = \frac{(U_a - c\Phi\omega)}{R_a}$$

$$\omega = \frac{U_a}{c\Phi} - \frac{I_a R_a}{c\Phi}$$

Последната зависимост представлява скоростната характеристика на двигателя $\omega = f(U_a)$.



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постояннотоков двигател

Електромагнитният момент на двигателя M е въртящ момент, а съпротивителни са моментът на задвижвания механизъм M_2 и моментът на празен ход M_0 . Моментът на празен ход M_0 съответства на мощността P_0 , която двигателят трябва да получи при празен ход, за да се покрият загубите от триене и загубите в магнитопровода от хистерезис и вихрови токове. При установен режим ($I_a = \text{const}$ и $\omega = \text{const}$) на работа на двигателя съществува равновесие между въртящия и сумата от съпротивителните моменти:

$$M = M_c = M_2 + M_0 \approx M_2$$

Връзката между тока на двигателя и момента е:

$$M = c\Phi I_a$$

След изразяване на тока и заместването му в израза за скоростната характеристика се получава:

$$\omega = \frac{U_a}{c\Phi} - \frac{R_a M}{(c\Phi)^2}$$

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постоянен ток двигател

Тази зависимост представлява товарната (механична) характеристика на двигателя $\omega=f(M)$, която може да се представи във вида:

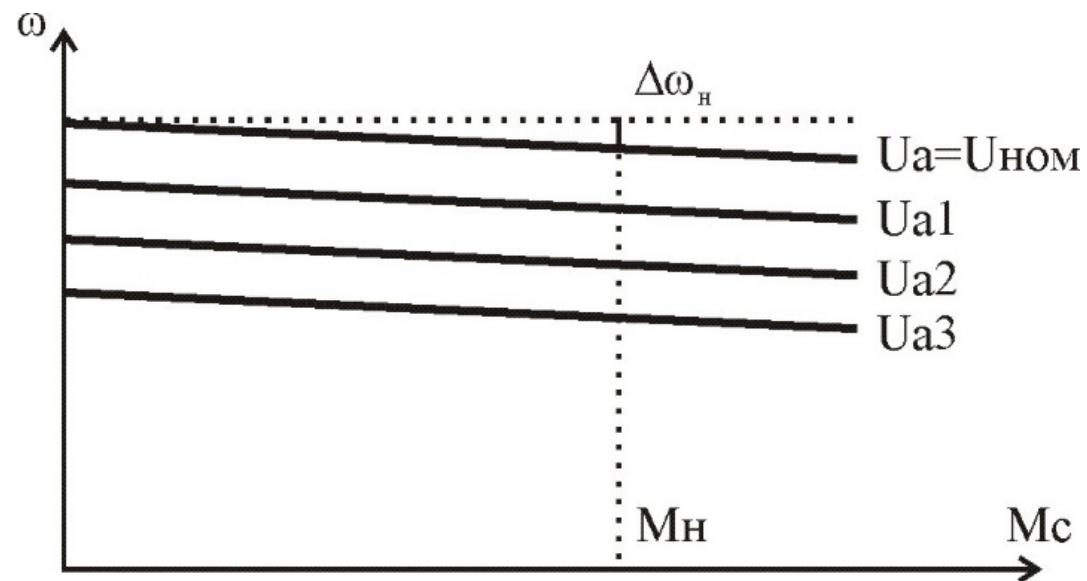
$$\omega = \omega_0(U_a) - \Delta\omega(M)$$

$$\omega_0(U_a) = \frac{U_a}{c\Phi} = K_{дв} U_a$$

е скоростта на празен ход, която зависи от захранващото напрежение.

$$\Delta\omega(M) = \frac{R_a M}{(c\Phi)^2}$$

е спадането на скоростта при натоварване на двигателя.



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постояннотоков двигател

От тази характеристика се извежда понятието *твърдост* - b . Изменението на ъгловата скорост зависи от наклона на товарната характеристика спрямо абсцисната ос. Колкото по-малък е този наклон, т.е. колкото „по-твърда“ е характеристиката, толкова изменението на скоростта ще се влияе по-малко от изменението на натоварването на двигателя.

$$b = \frac{dM}{d\omega} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{\Delta\omega_{\text{НОМ}}}$$

Точността се определя от относителната грешка:

$$\delta = \frac{\Delta\omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0}$$

При зададена допустима относителна грешка $\delta_{\text{зад}}$ може да се определи минималната скорост:

$$\omega_{0\text{мин}} = \frac{\Delta\omega_{\text{НОМ}}}{\delta_{\text{зад}}} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{b\delta_{\text{зад}}}$$

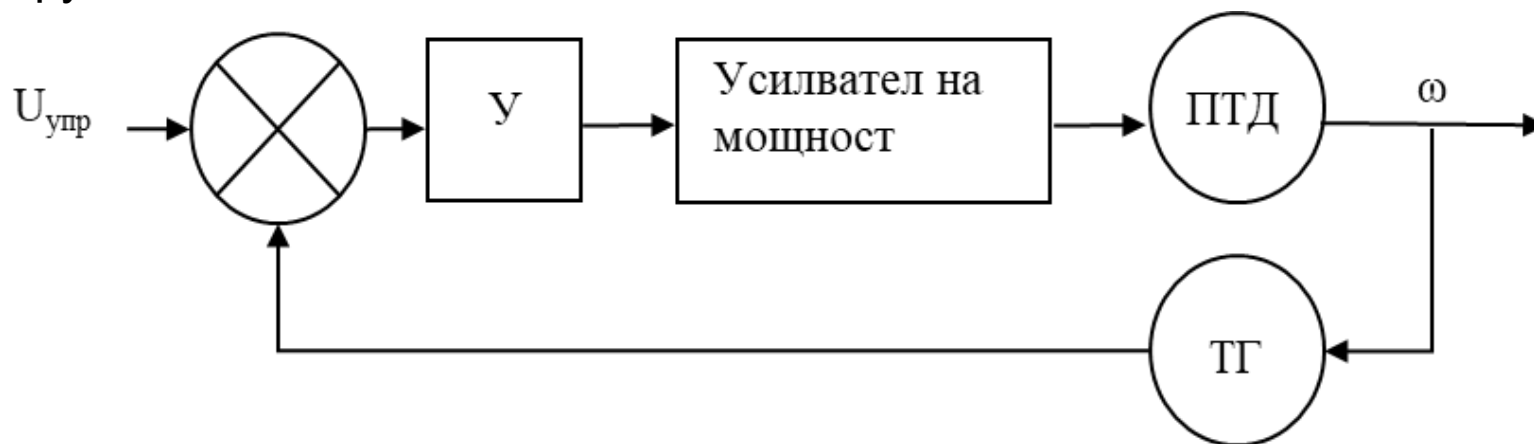
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Динамичният диапазон на регулиране на скоростта D се определя:

$$D = \frac{\omega_{0max}}{\omega_{0min}} = \frac{\omega_{0max} b \delta_{зад}}{M_{ном}}$$

Естествената твърдост на постояннотоковите двигатели е недостатъчна за постигане на голям динамичен диапазон на изменение на скоростта и затова те се включват в системи с дълбока отрицателна обратна връзка връзка по скорост – регулируемо задвижване.



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Блоковете са сравняващо устройство, усилвател на разлика, усилвател на мощност, двигател и тахогенератор. Тахогенераторът е информационна електрическа машина, преобразуваща механичното завъртане на вала в електрически сигнал – напрежение, което е пропорционално на честотата на въртене на вала. Използва се в системи за управление по скорост.

Предавателната функция на получената затворена система:

$$\omega = (U_{\text{упр}} - K_{\text{ТГ}}\omega)K_yK_{\text{ум}}K_{\text{дв}} - \frac{M}{b}$$

След преработване се стига до:

$$\omega = \frac{U_{\text{упр}}K_yK_{\text{ум}}K_{\text{дв}}}{1 + K_yK_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{ТГ}}} - \frac{M}{b(1 + K_yK_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{ТГ}})}$$

$b' = b(1 + K_yK_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{ТГ}}) \gg 1$ се нарича твърдост на регулируемото задвижване.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Величината $(1 + K_y K_{ум} K_{дв} K_{тг}) \rightarrow \sim$.

Тогава за ъгловата скорост се получава:

$$\omega = \frac{U_{упр}}{K_{тг}}$$

От това следва, че ъгловата скорост е в линейна зависимост от управляващото напрежение и не зависи от натоварването. Точността се определя от звеното във веригата на обратната връзка – тахогенератора, нестабилността, нелинейността и грешките на предавателните характеристики на останалите блокове не оказват влияние на предавателната характеристика на регулируемото задвижване.

Чрез регулируемо задвижване се постигат големи стойности на диапазона на регулиране от $D=1:1000$ до $D=1:50000$. Тези стойности на изменение на скоростта позволяват избягването на механични предавки (скоростни кутии), което води до по-голяма надеждност и по-ниски разходи за производство на управляващите системи.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на скоростта може да се извърши по три метода:

- чрез изменение на съпротивлението в котвената верига R_a ;
- чрез изменение на магнитния поток Φ , т.е. на възбудителния ток;
- чрез изменение на захранващото напрежение U_a .

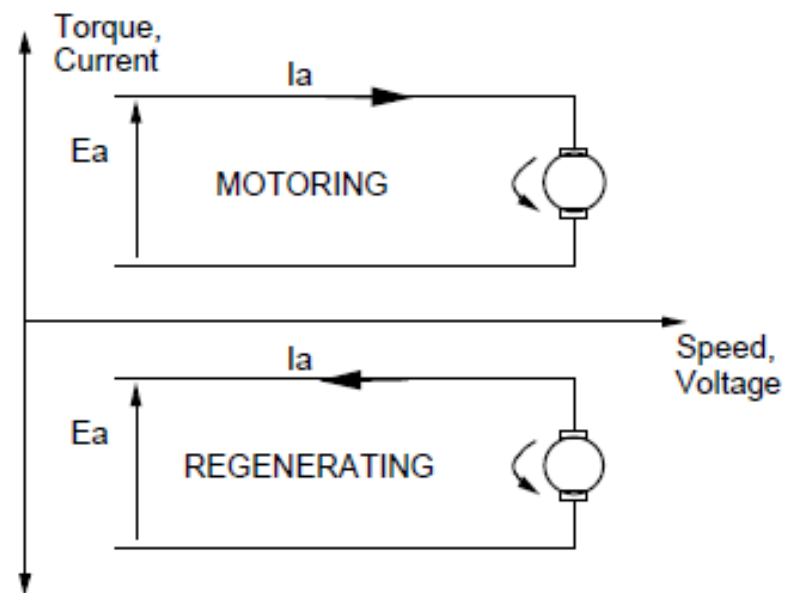
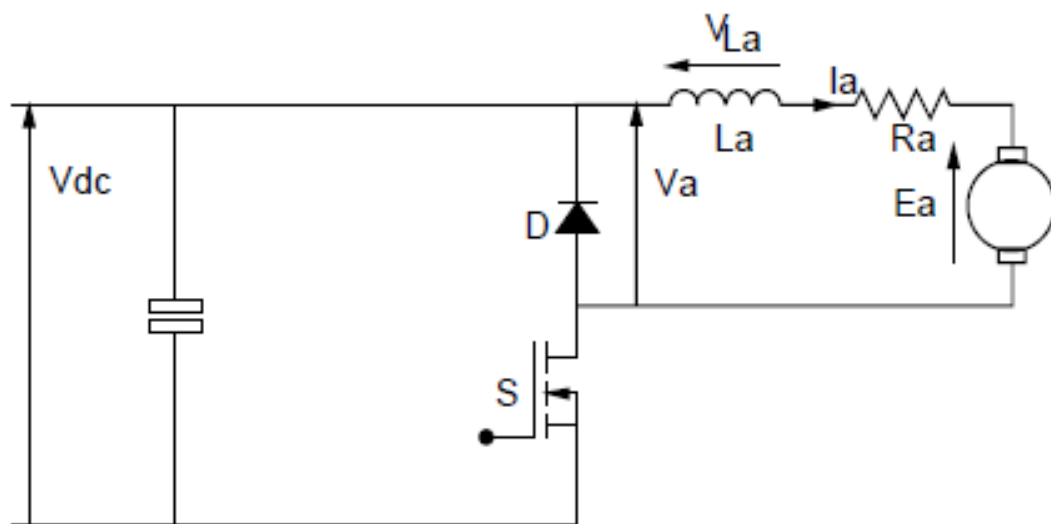
Всеки от методите има предимства и недостатъци, но методът с регулиране на захранващото напрежение осигурява широк обхват, плавност, икономичност и запазване на стабилността (твърдостта) на характеристиката. В този случай усилвателят на мощност има важно значение.

Реализацията на усилвателя на мощност може да бъде по различни схеми – управляем токоизправител, линеен усилвател и др., но в съвременните системи най-разпространен е метода с транзисторни ключови схеми. Регулирането се извършва с много висок к.п.д. (практически без загуба на мощност), особено при високи ъглови скорости.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Едноквадрантно управление



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Когато транзисторът е отпушен токът на котвата нараства според израза:

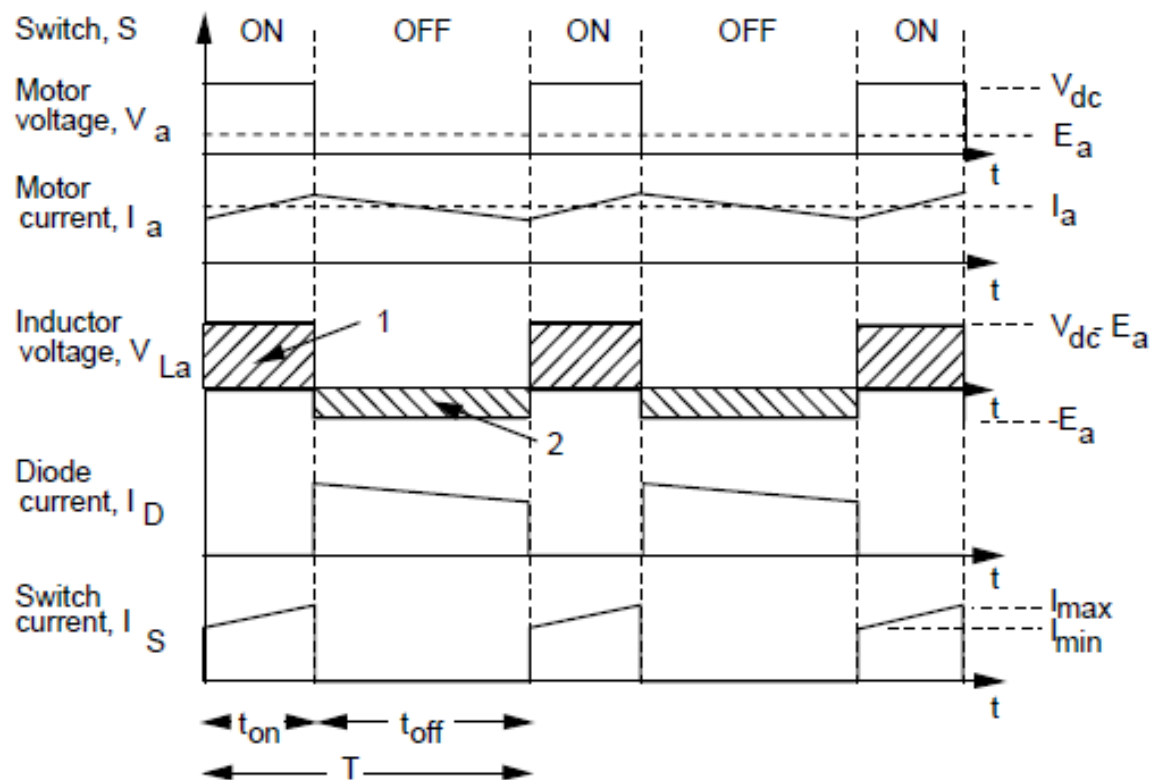
$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{V_{dc} - E_a}{L_a}$$

Когато транзисторът е запушен токът на котвата намалява по формулата:

$$\frac{dI_a}{dt} = -\frac{E_a}{L_a}$$

Захранващото напрежение на двигателя е:

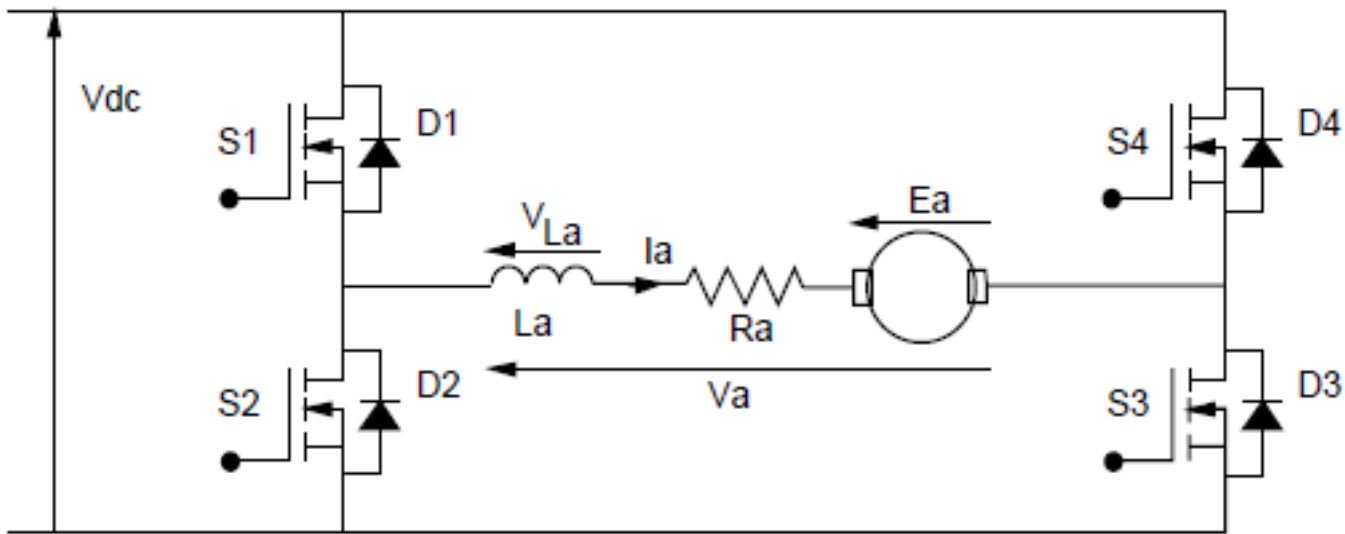
$$V_a = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{dc}$$



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

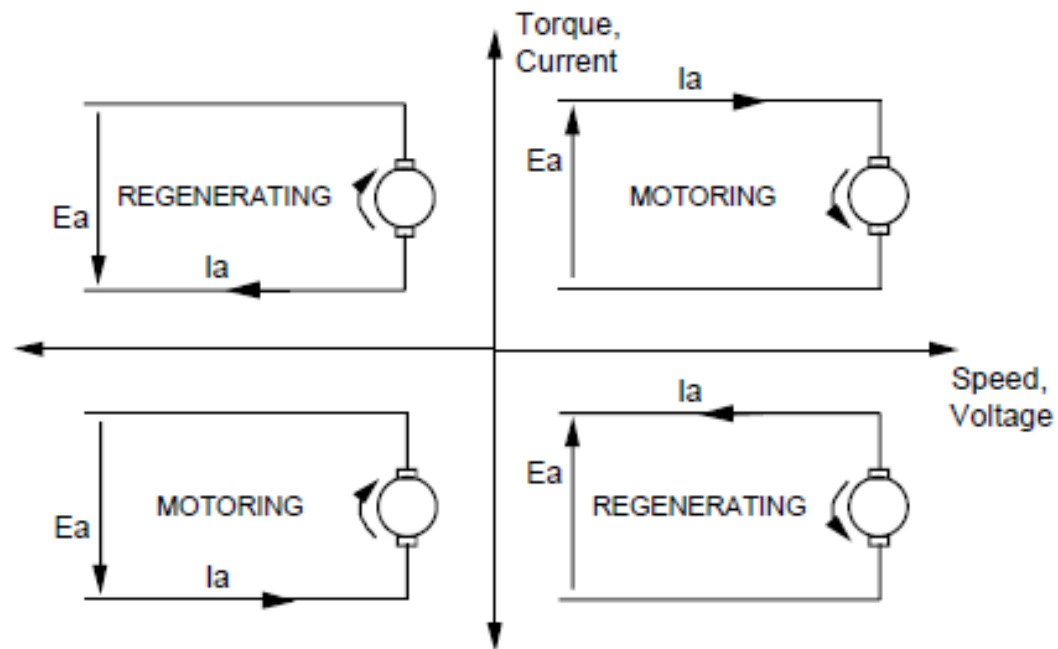
Регулируемо задвижване

Четириквadrантно управление

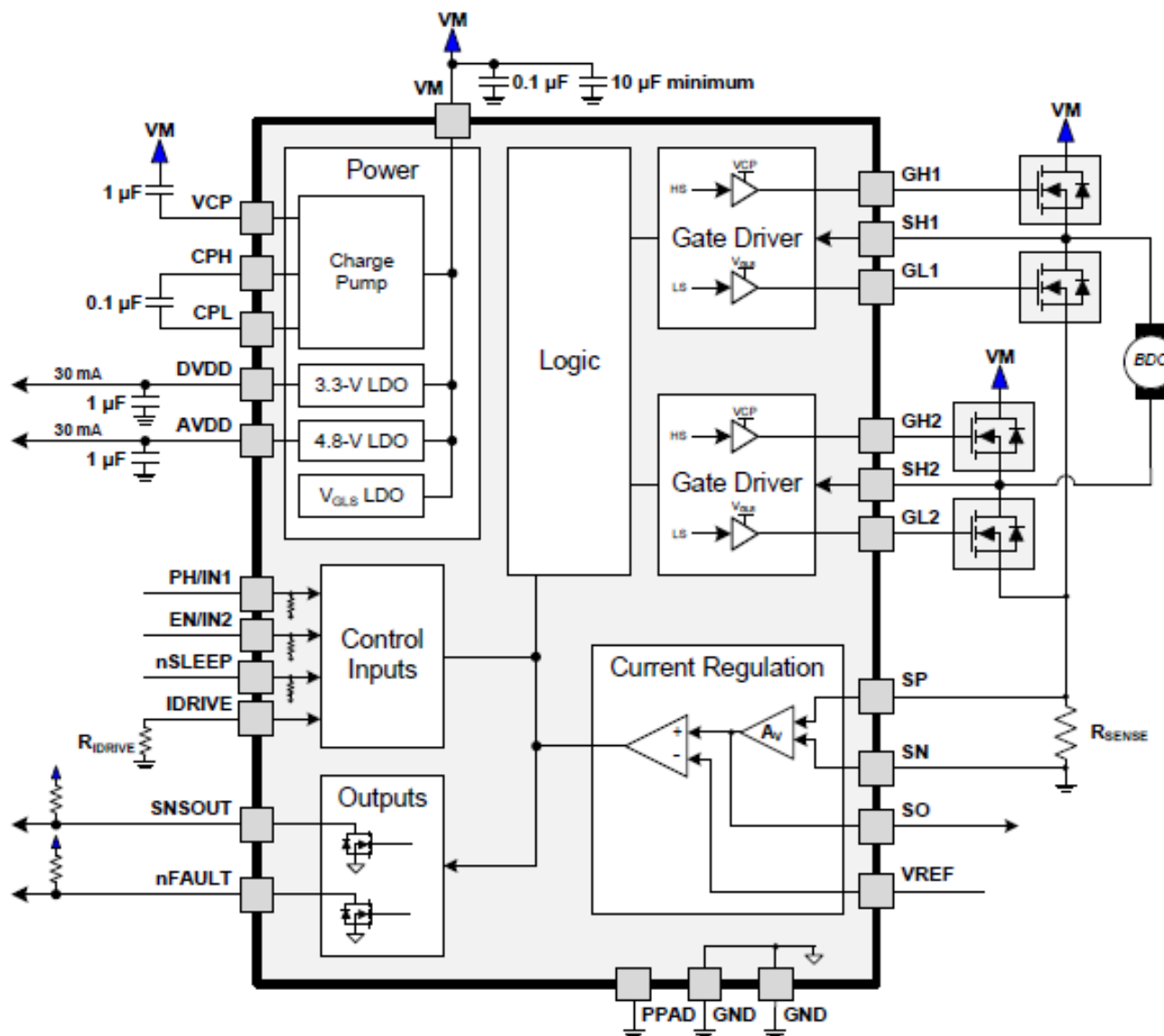


Захранващото напрежение на двигателя е:

$$V_a = V_{12} - V_{34}$$

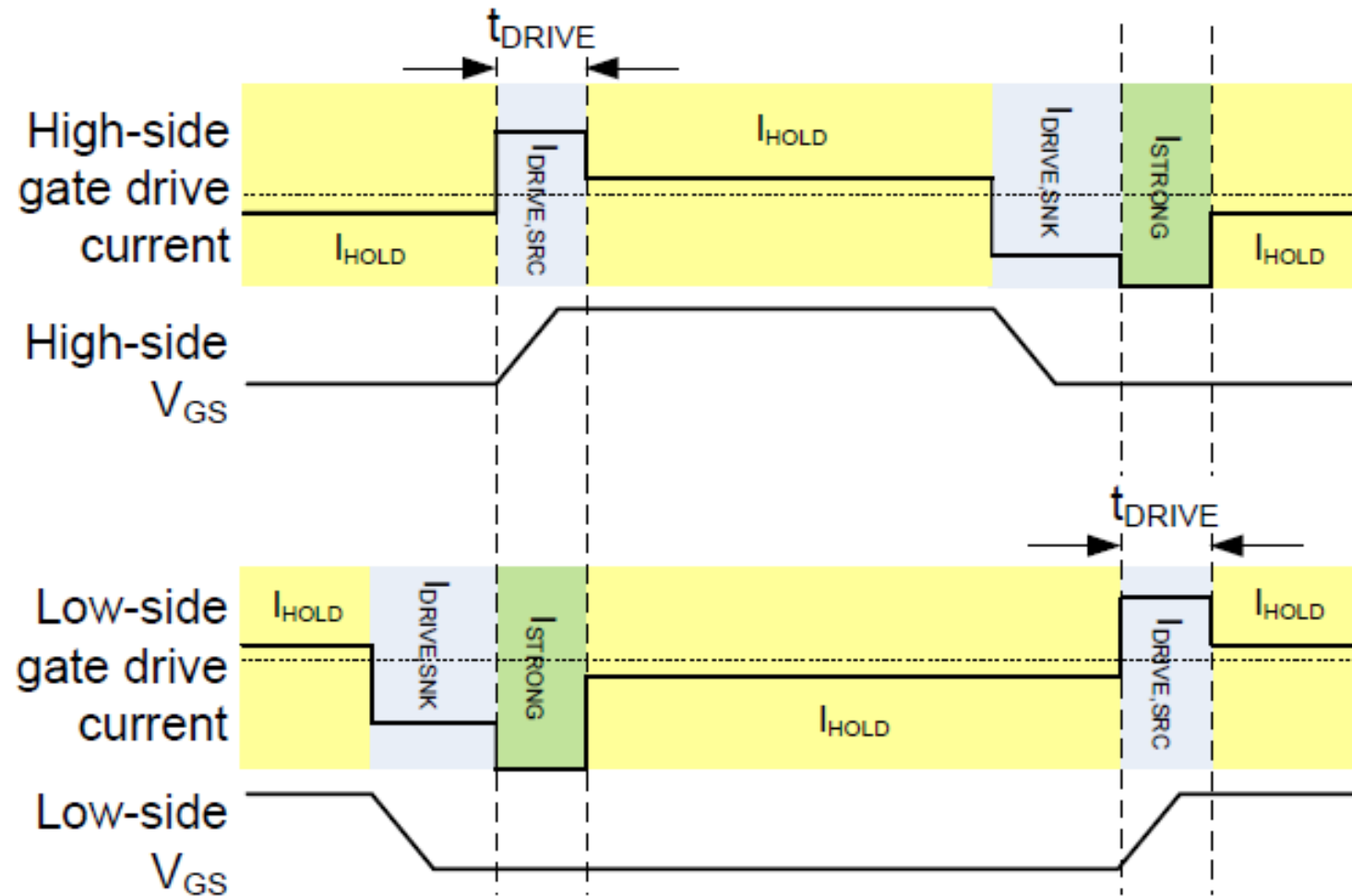


ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ



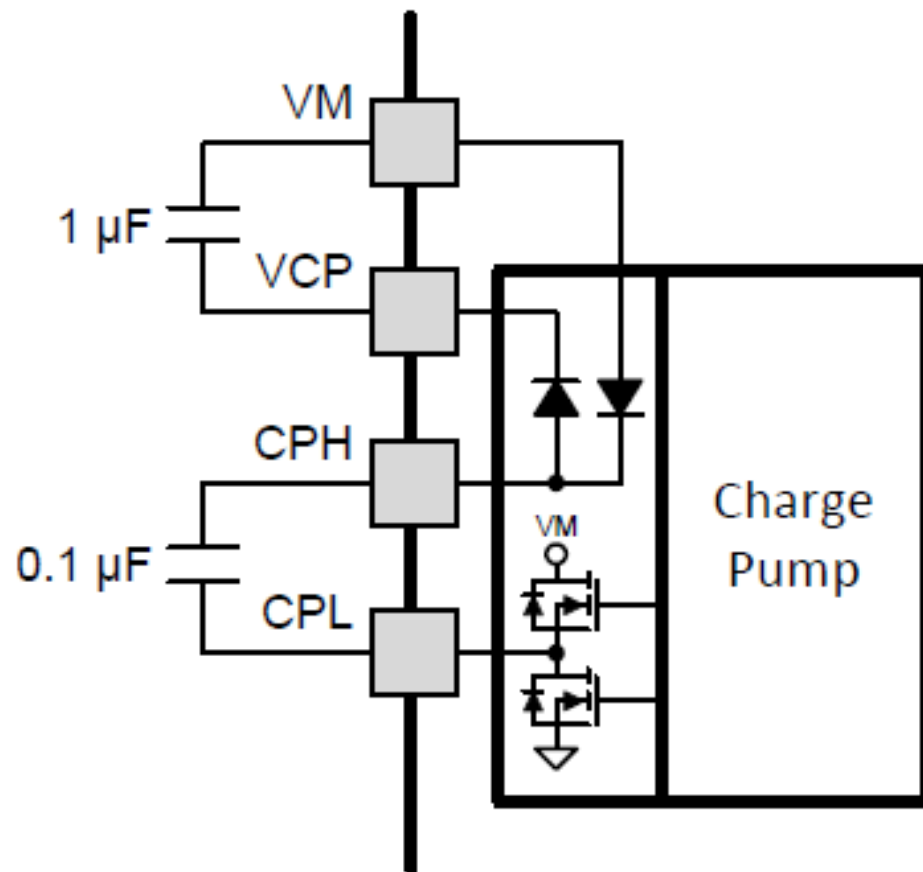
DRV8701 – схема за управление на пълен мост – блокова схема

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ



Управление на ключовете в рамената на мостовата схема в DRV8701

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ



Зарядна помпа за управление на ключовете от горното рамо на моста в DRV8701

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Пускането на двигателя е преходен процес, който започва от момента на включването на двигателя към захранващата мрежа и завършва с достигането на установена ъглова скорост.

Пускането се характеризира със следните показатели:

- кратност на пусковия ток $k_{\text{ПТ}} = \frac{I_{\text{П}}}{I_{\text{Н}}}$;
- кратност на пусковия момент $k_{\text{ПМ}} = \frac{M_{\text{П}}}{M_{\text{Н}}}$;
- продължителност на пусковия процес.

Най-благоприятен е този пусков процес, при който $k_{\text{ПТ}}$ е малък, $k_{\text{ПМ}}$ е голям и двигателят бързо преодолява съпротивителния и инерционния момент и се ускорява.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

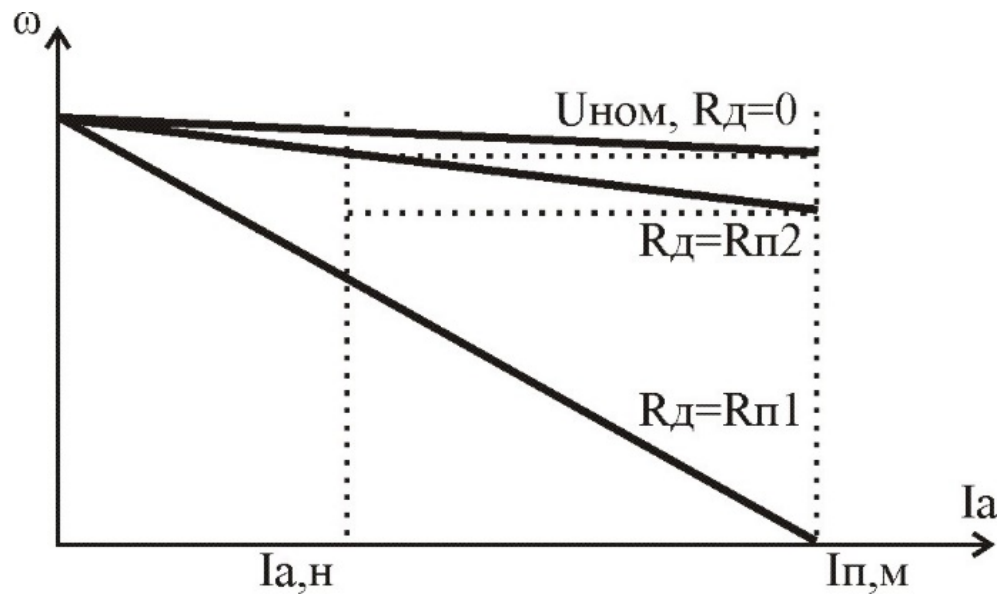
В първия момент след включването роторът на двигателя не се върти, поради което липсва противо- е.д.н. ($E=c\Phi\omega=0$) и началният пусков ток е много голям. Тъй като съпротивлението на котвената намотка е малко, пусковият ток превишава номиналния 10 – 30 пъти. Този голям пусков ток е опасен за колектора и четките, а също така и за активните елементи от ключовата схема. Освен това води и до голям пусков момент $M_{\text{п}}$. Затова трябва да се вземат мерки пусковият ток на двигателя да не превиши дадена максимална стойност $I_{\text{пmax}}$, която обикновено е в границите $I_{\text{пmax}} = (1,5 \div 2,5) I_{\text{аном}}$. Пусковият ток може да се намали по два начина:

- чрез добавяне на допълнителен резистор в котвената верига (реостатно пускане);
- чрез намаляване на захранващото напрежение (когато това е технически възможно).

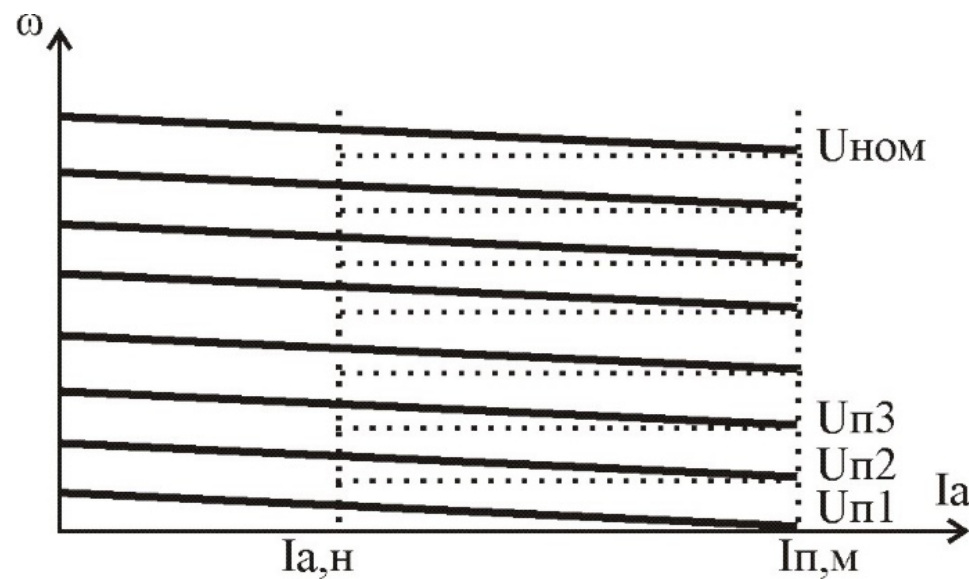
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток



С добавъчен резистор

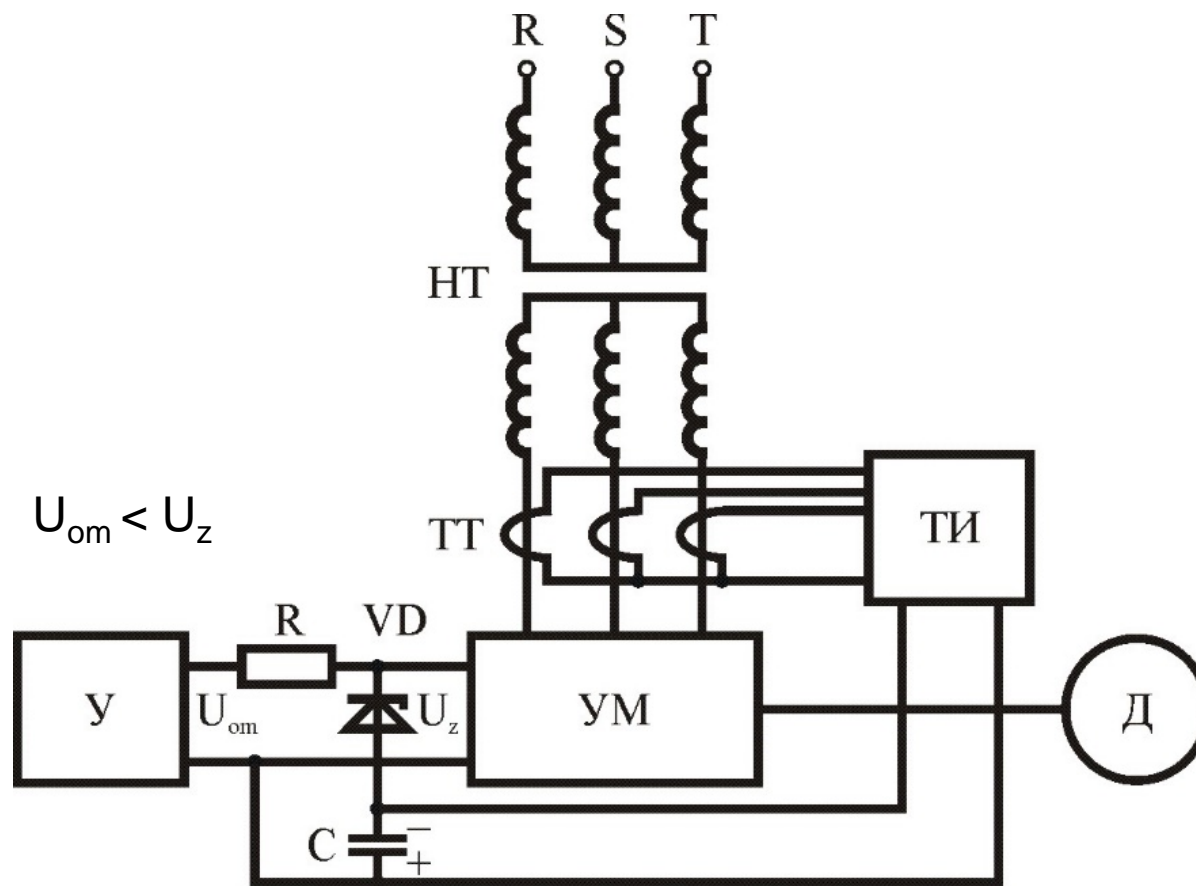


С промяна на захранващото напрежение

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток по схема за токоограничение с отсечка



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

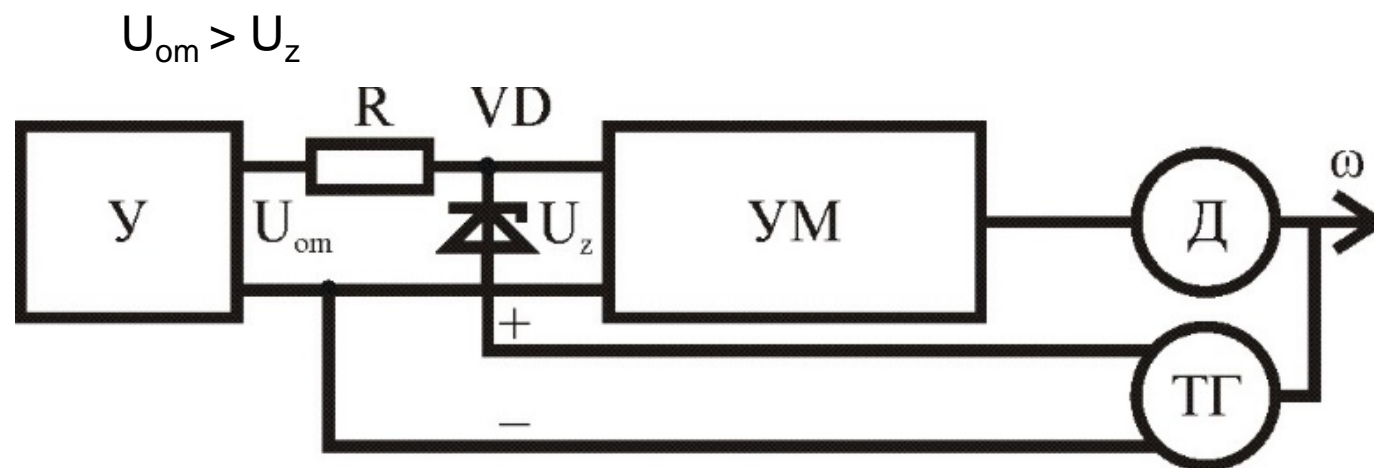
Регулиране на пусковия ток по схема за токоограничение с отсечка

При тази схема се следи пусковия ток чрез измерване на консумацията от захранващата мрежа. Задвижването се захранва от трифазен напрежителен трансформатор НТ, а консумацията се следи чрез трифазен токов трансформатор ТТ. Изходното напрежение на усилвателя на разлика се подава към усилвателя на мощност през схема за ограничение, включваща резистора и ценеровия диод. При начално пускане на спрял двигател напрежението от тахогенератора е нула и усилвателят на разлика изработва максималната стойност на изходното си напрежение U_{om} . Пробивното напрежение U_z на ценеровия диод е избрано да бъде по-високо от U_{om} . В следствие на това през двигателя протича пусков ток с голяма стойност. Изходното напрежение на токовия трансформатор се изправя от токоизправител ТИ и кондензаторът С се зарежда. Това води до намаляване на напрежението U_z и ценеровият диод ограничава входното напрежение на усилвателя на мощност. Недостатък на схемата е, че ограничението се задейства след протичането на ток с голяма стойност, който трябва да бъде издържан от двигателя и усилвателя на мощност.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток по схема с изпреварващо токоограничение



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

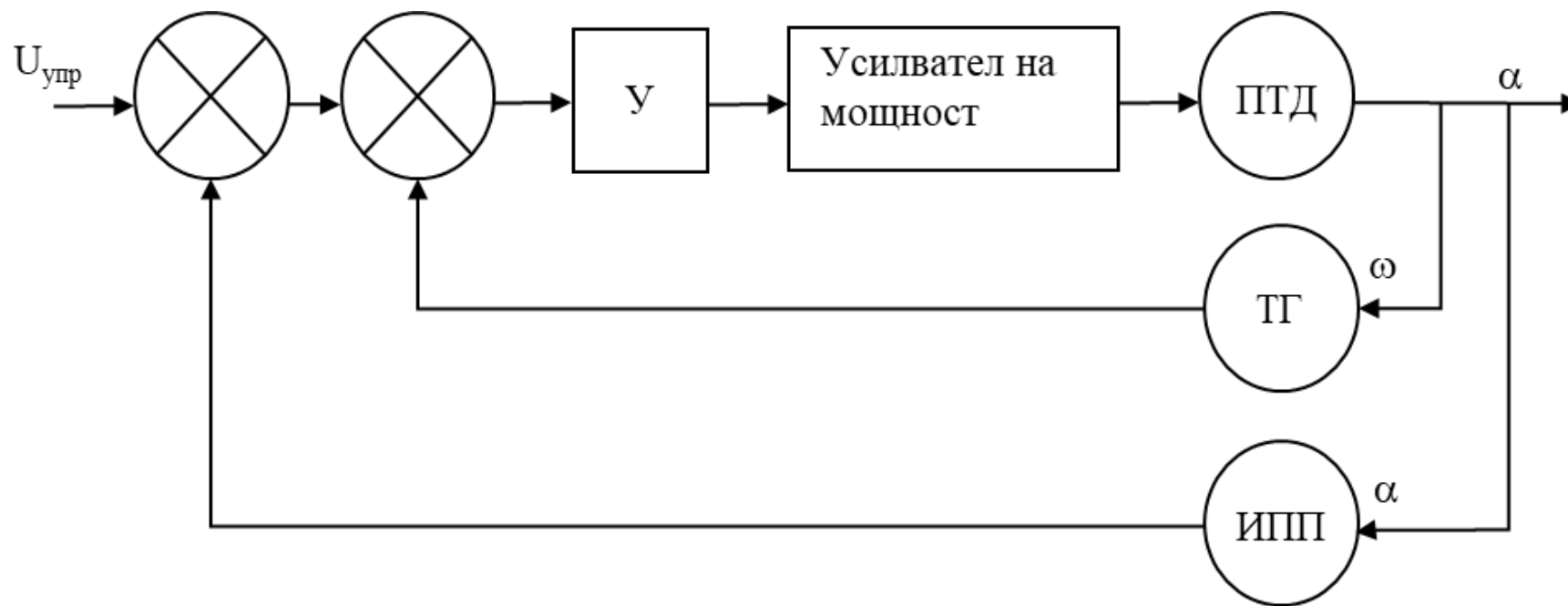
Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток по схема с изпреварващо токоограничение

При тази схема се избягва протичането на първоначален ток с голяма стойност. При спрял двигател изходното напрежение на тахогенератора е нула. Пробивното напрежение U_z на ценеровия диод е избрано да бъде по-ниско от U_{om} . В следствие на това входното напрежение на усилвателя на мощност се ограничава до U_z и през двигателя не протича пусков ток с голяма стойност. При развъртане на двигателя се повишава изходното напрежение на тахогенератора, което води до запусване на ценеровия диод и към усилвателя на мощност се подава напрежение, което съответства на зададената скорост.

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Следящо задвижване



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Следящо задвижване

Следящото задвижване преобразува входното управляващо напрежение $U_{упр}$ в пропорционално на него механично преместване – ъгъл на завъртане на ротора на двигателя α . Използва се в системите за позициониране в машиностроенето, робототехниката, автоматизираните поточни линии и др. При него се въвежда обща обратна връзка по положение с използване на измервателен преобразувател на преместване. Следователно предавателната функция на следящото задвижване е:

$$\alpha = kU_{упр}$$

Основна част от него е регулируемото задвижване, което трябва да осигури плавно увеличаване на скоростта при стартиране и съответно плавно намаляване на скоростта до нула при достигане на зададената позиция.

При съвременните системи за управление сравняващите и усилвателните блокове се реализират програмно. Апаратната част на задвижването включва усилвателя на мощност, двигателя и измервателните преобразуватели на скорост и преместване, а той може да бъде един – импулсен енкодер, чийто изходни сигнали дават информация и за двете механични величини. В машиностроенето се постигат скорости до 12 m/min при позициониране с точност 1 μ m.