

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 :

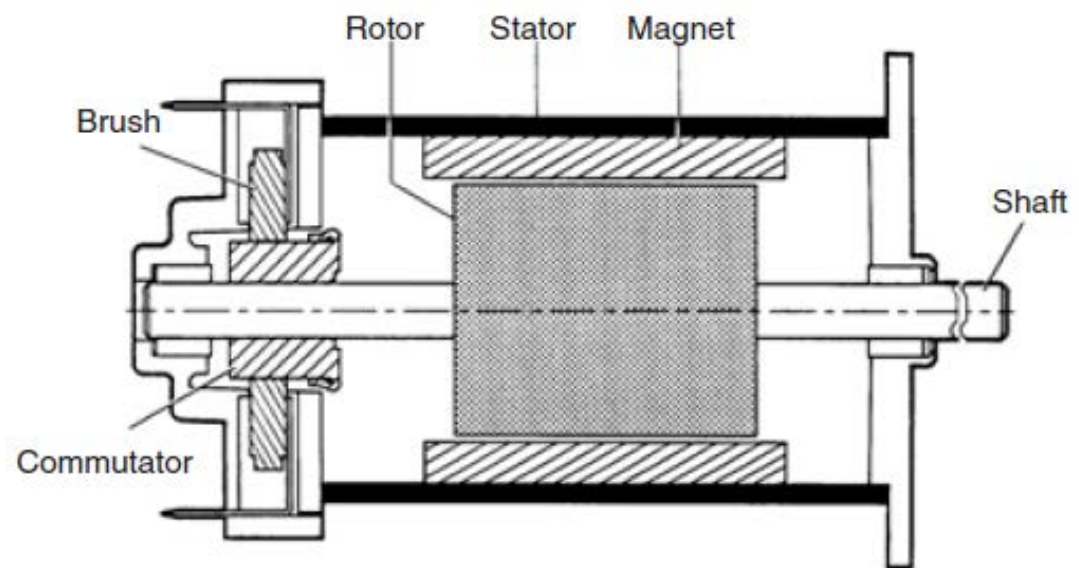
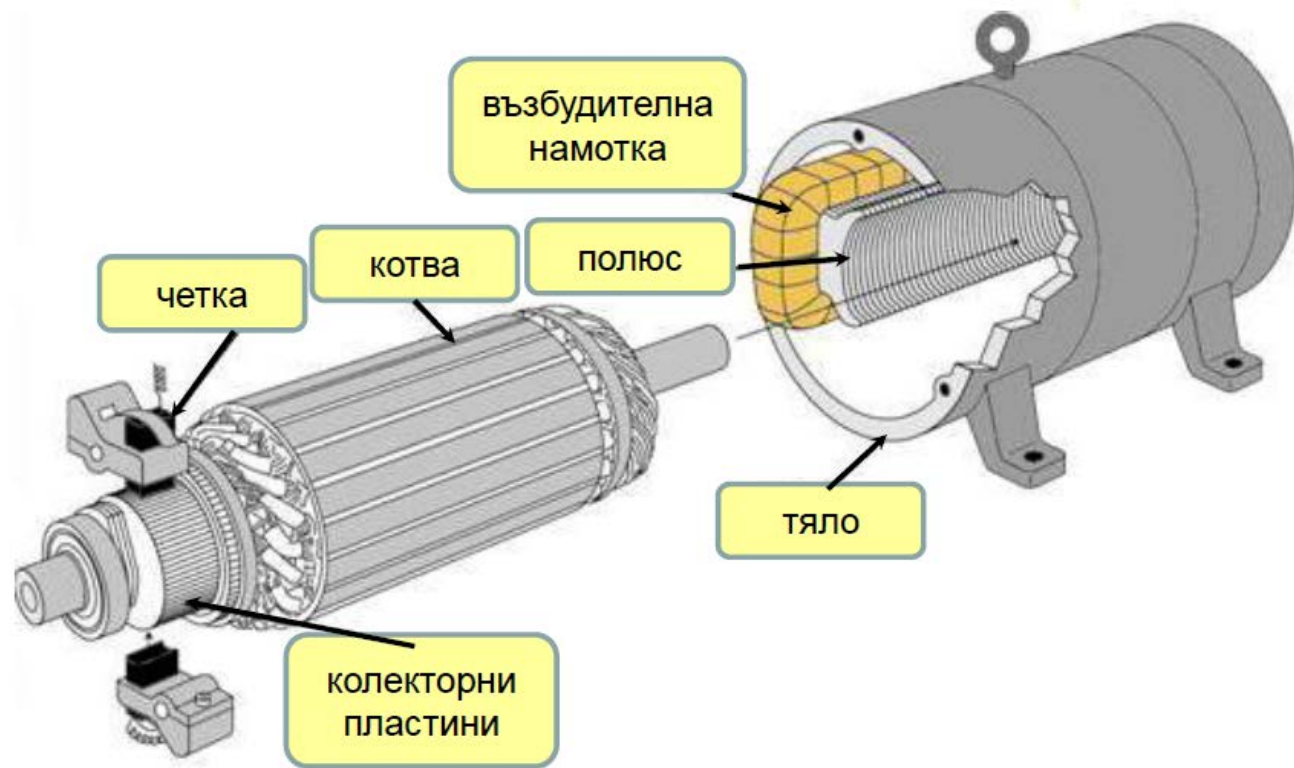
- бавно въртящи се - с честота на въртене до 300 об/min;
- средно бързо въртящи се – 300 – 1500 об/min;
- бързо въртящи се – 1500 – 6000 об/min;
- свръхбързо въртящи се – над 6000 об/min.

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

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

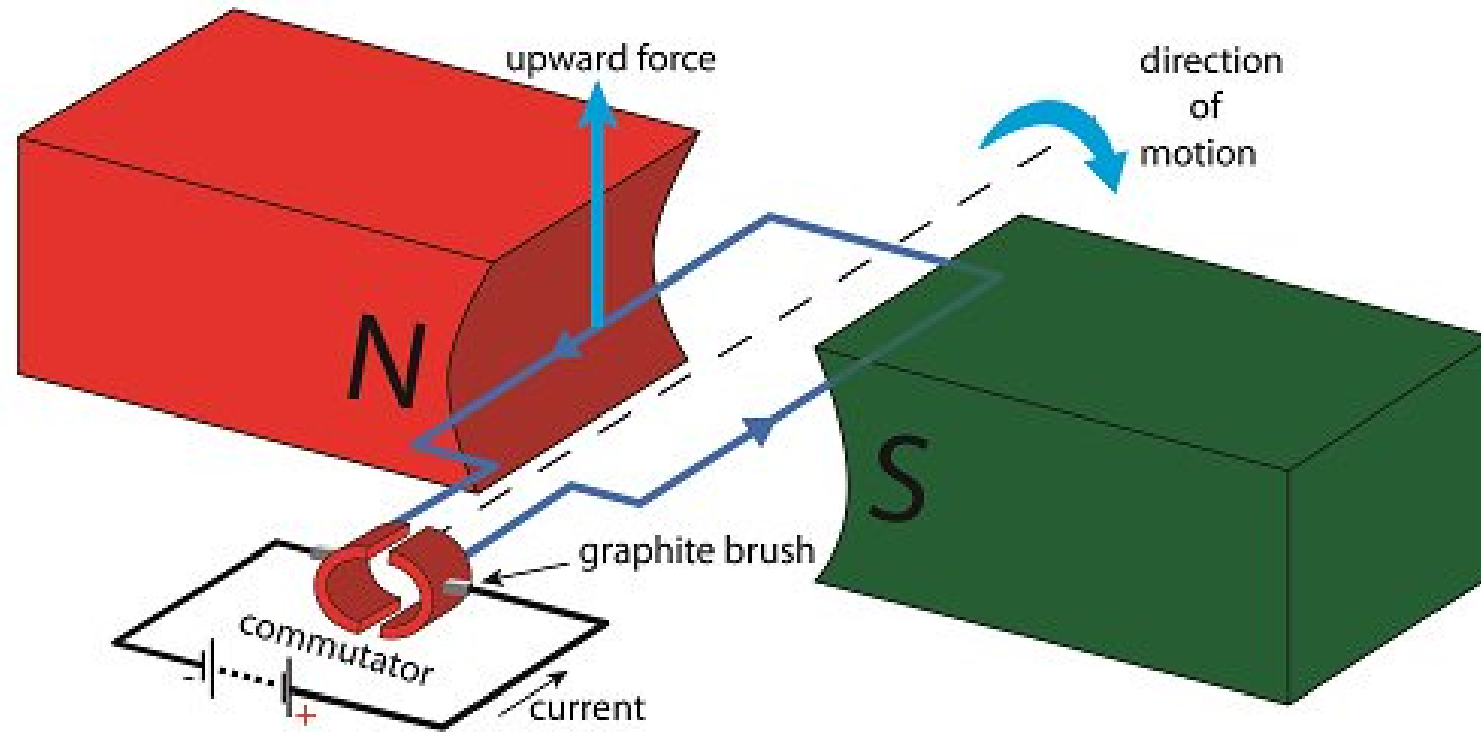
Всеки електрически двигател има активна и конструктивна част. Активната част се състои от магнитна система и електрическа система – намотки. В нея се извършва процесът на преобразуване на енергията. Конструктивната част е механична система, върху която са закрепени намотките и магнитната система. Тя 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

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.

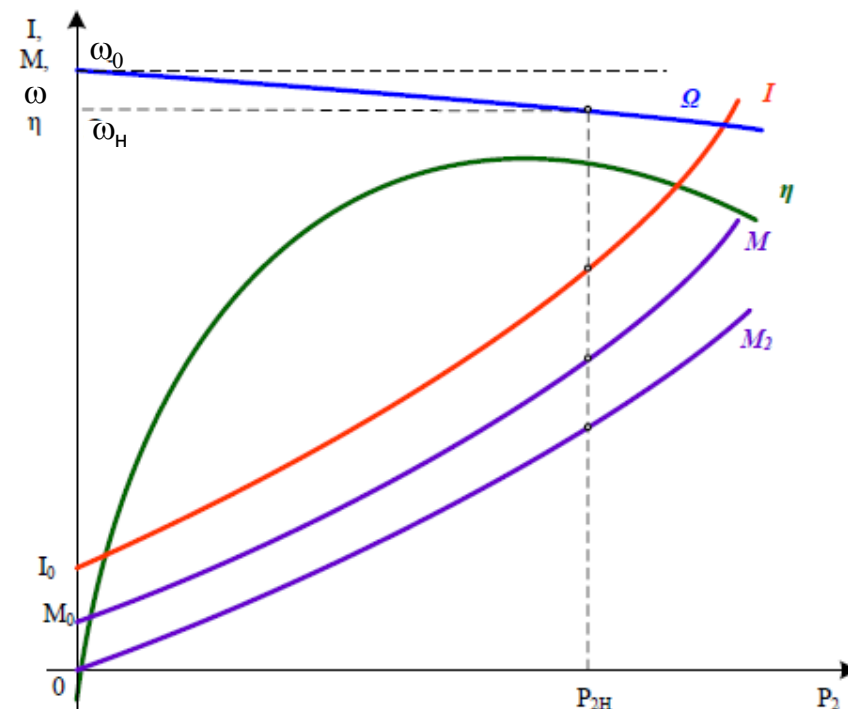
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

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

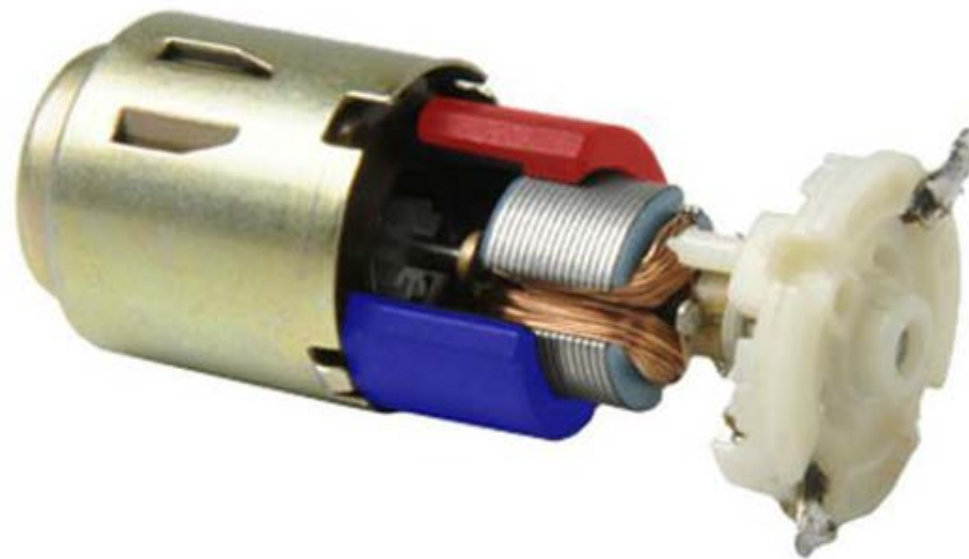
$$P_{\text{mech}} = M \cdot \omega$$

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

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

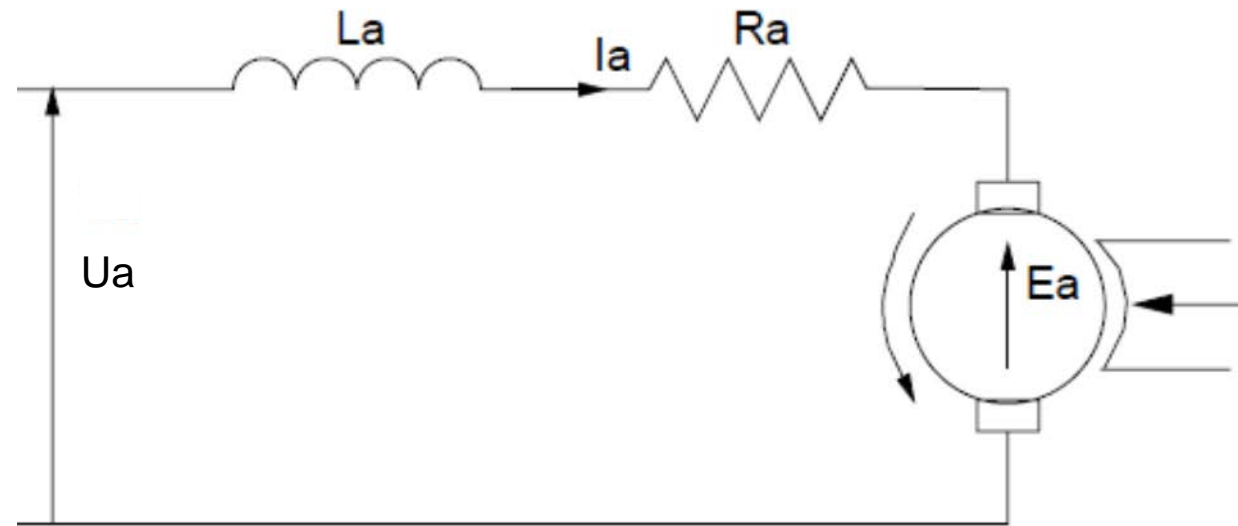
$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

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



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 постоянотоков двигател

За тази еквивалентна схема са валидни зависимостите:

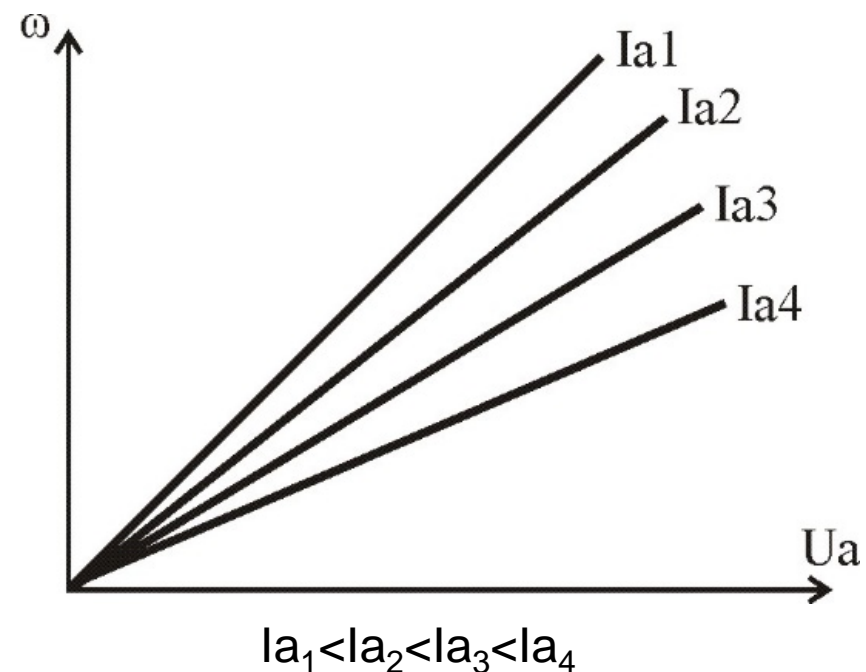
$$U_a = E_a + I_a R_a$$

$$E = c\Phi\omega$$

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

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

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



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Еквивалентна схема на веригата на котвата на постоянотоков 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:

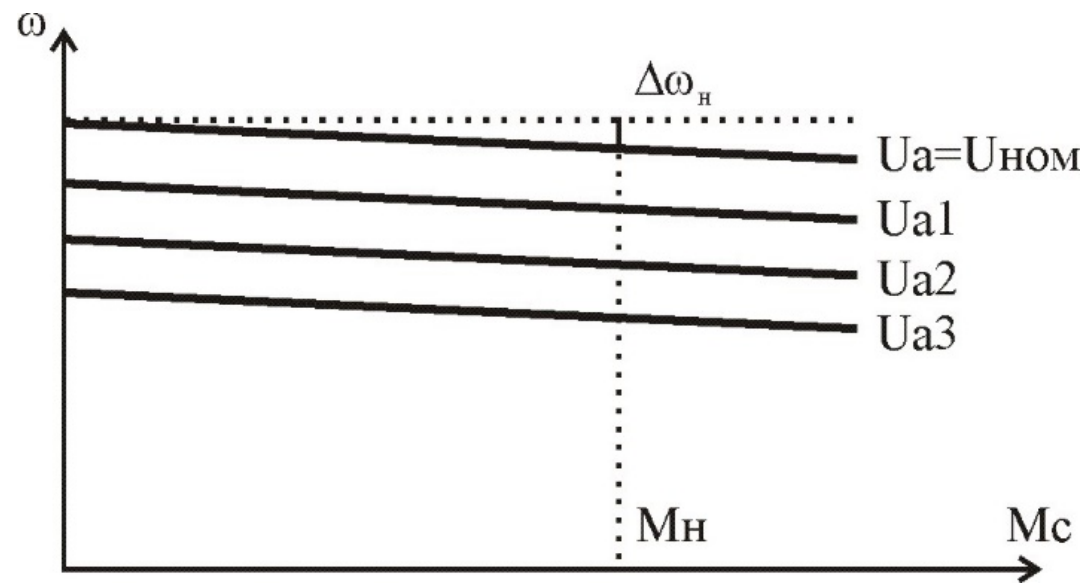
$$\omega = \omega_0(U_a) - \Delta\omega(M)$$

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

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:

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

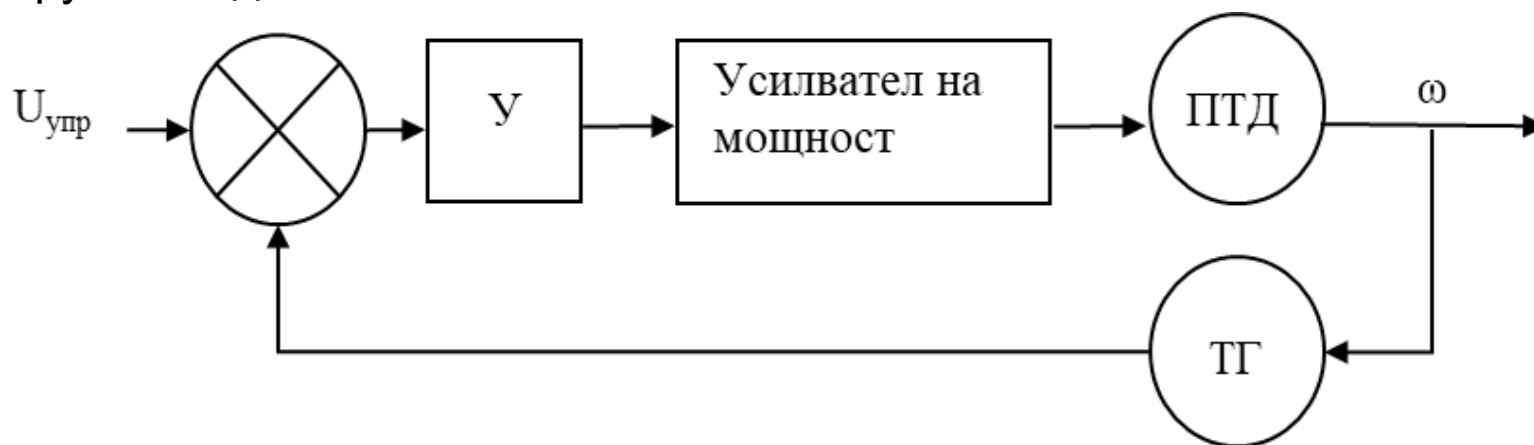
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

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 .

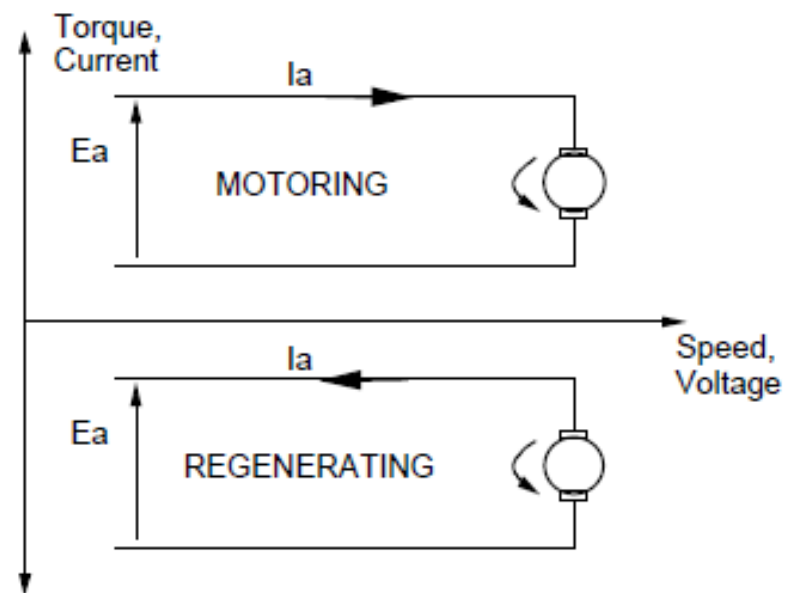
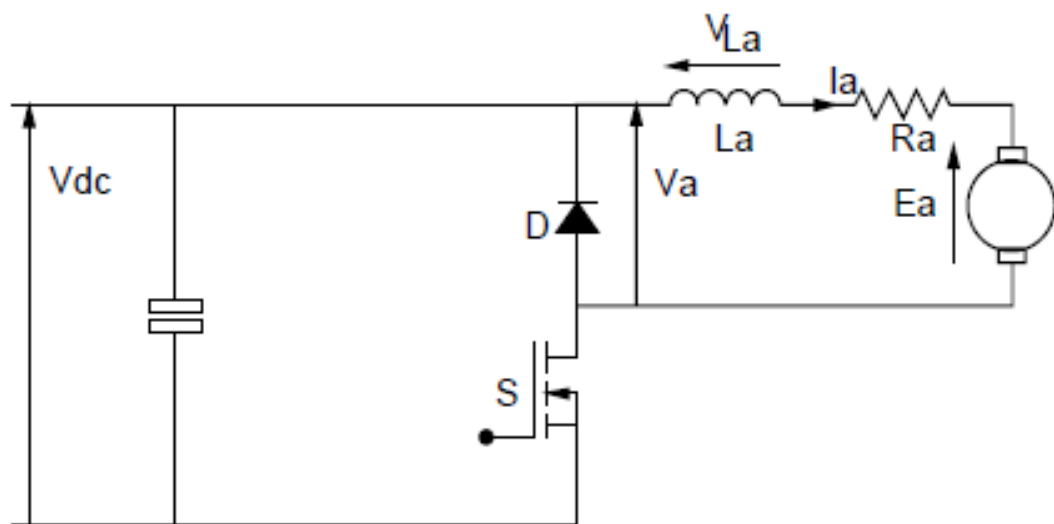
Всеки от методите има предимства и недостатъци, но методът с регулиране на захранващото напрежение осигурява широк обхват, плавност, икономичност и запазване на стабилността (твърдостта) на характеристиката. В този случай усилвателят на мощност има важно значение.

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:

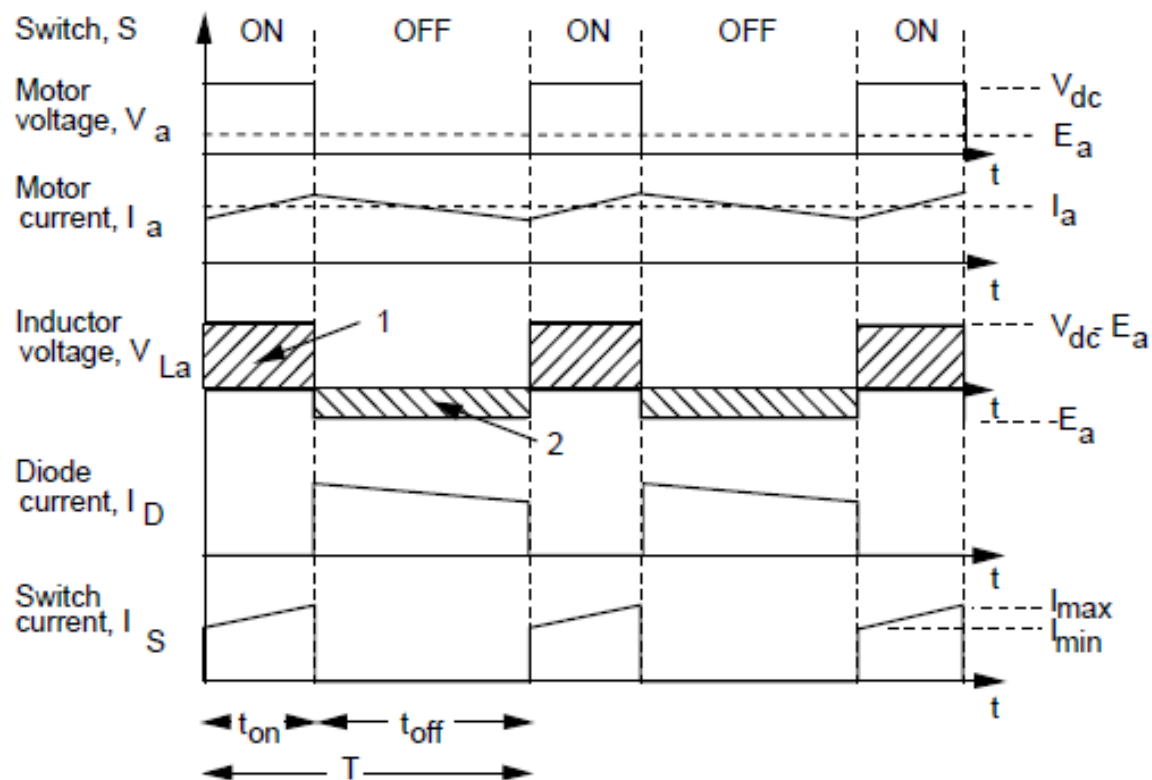
$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{V_{dc} - E_a}{L_a}$$

Когато транзисторът е запушен токът на котвата намалява по формулата:

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

Захранващото напрежение на двигателя е:

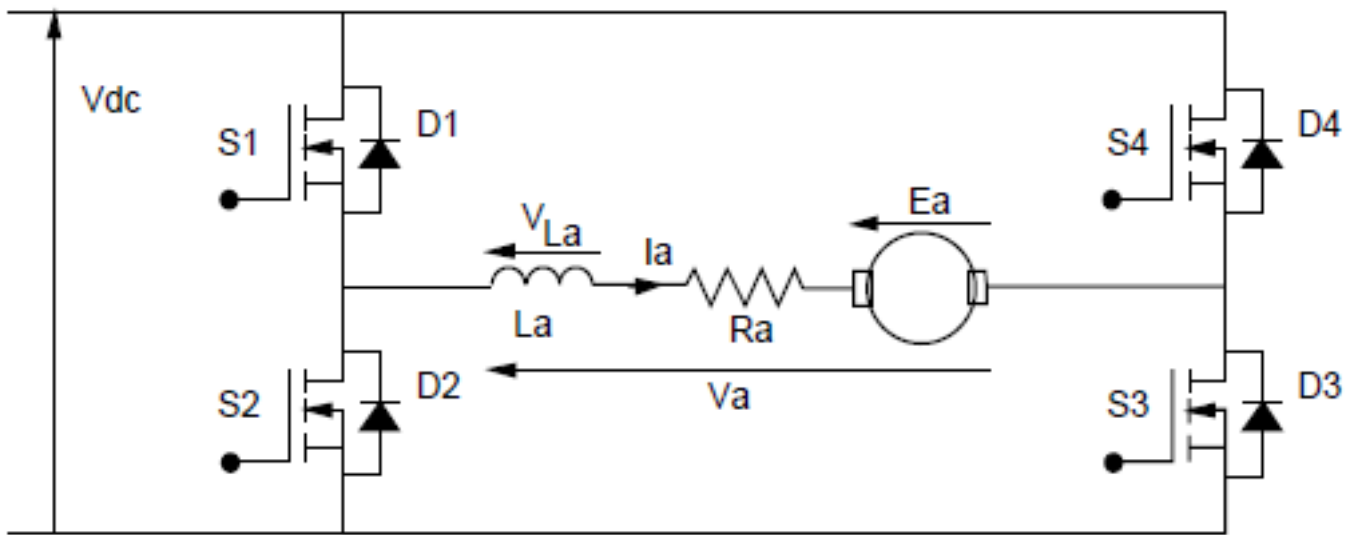
$$V_a = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{dc}$$



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

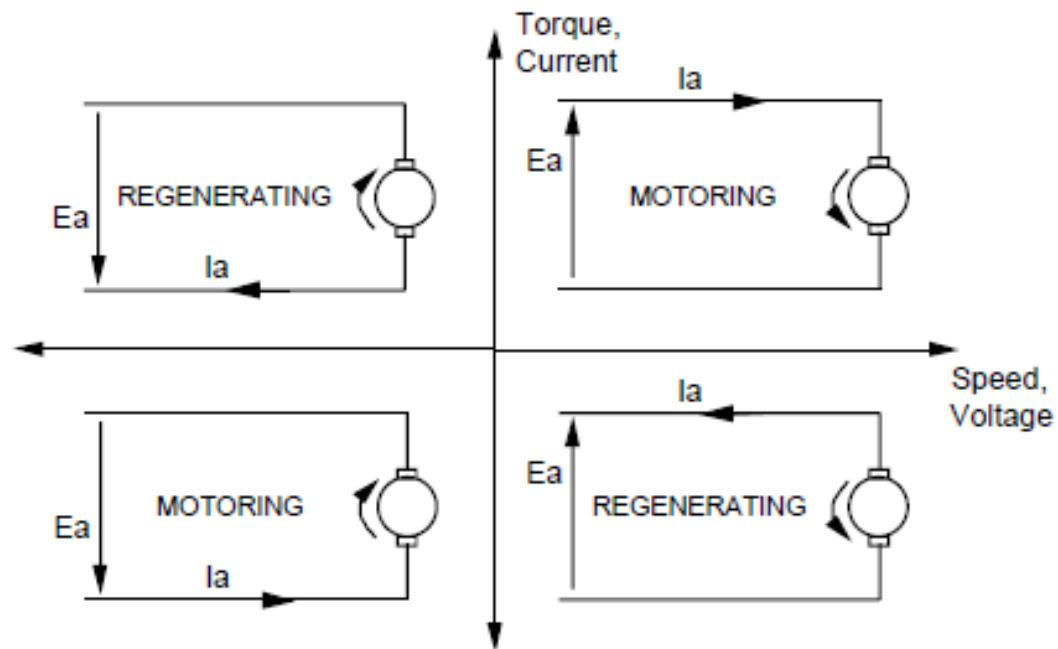
Регулируемо задвижване

Четириквadrантно управление

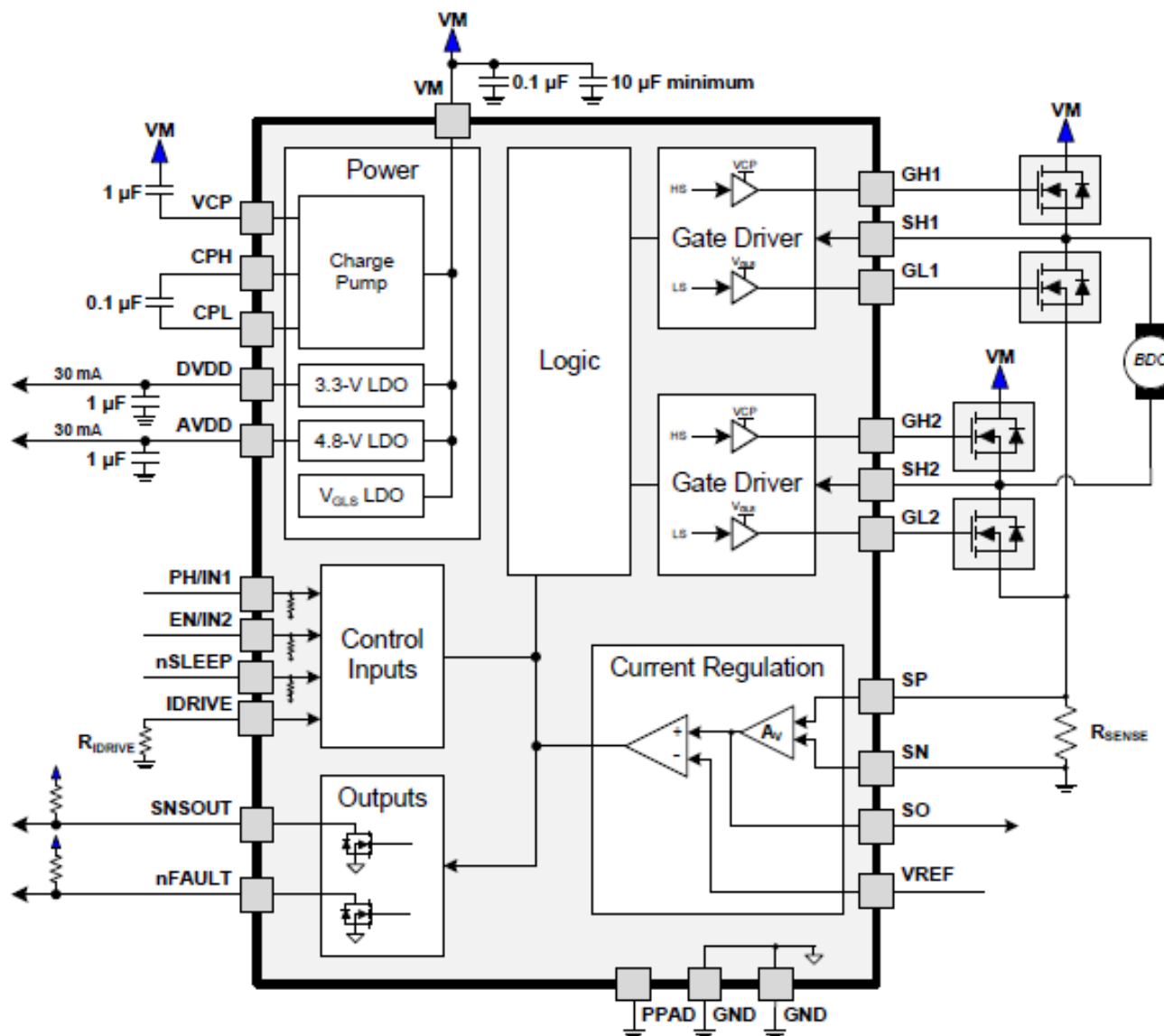


Захранващото напрежение на двигателя е:

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

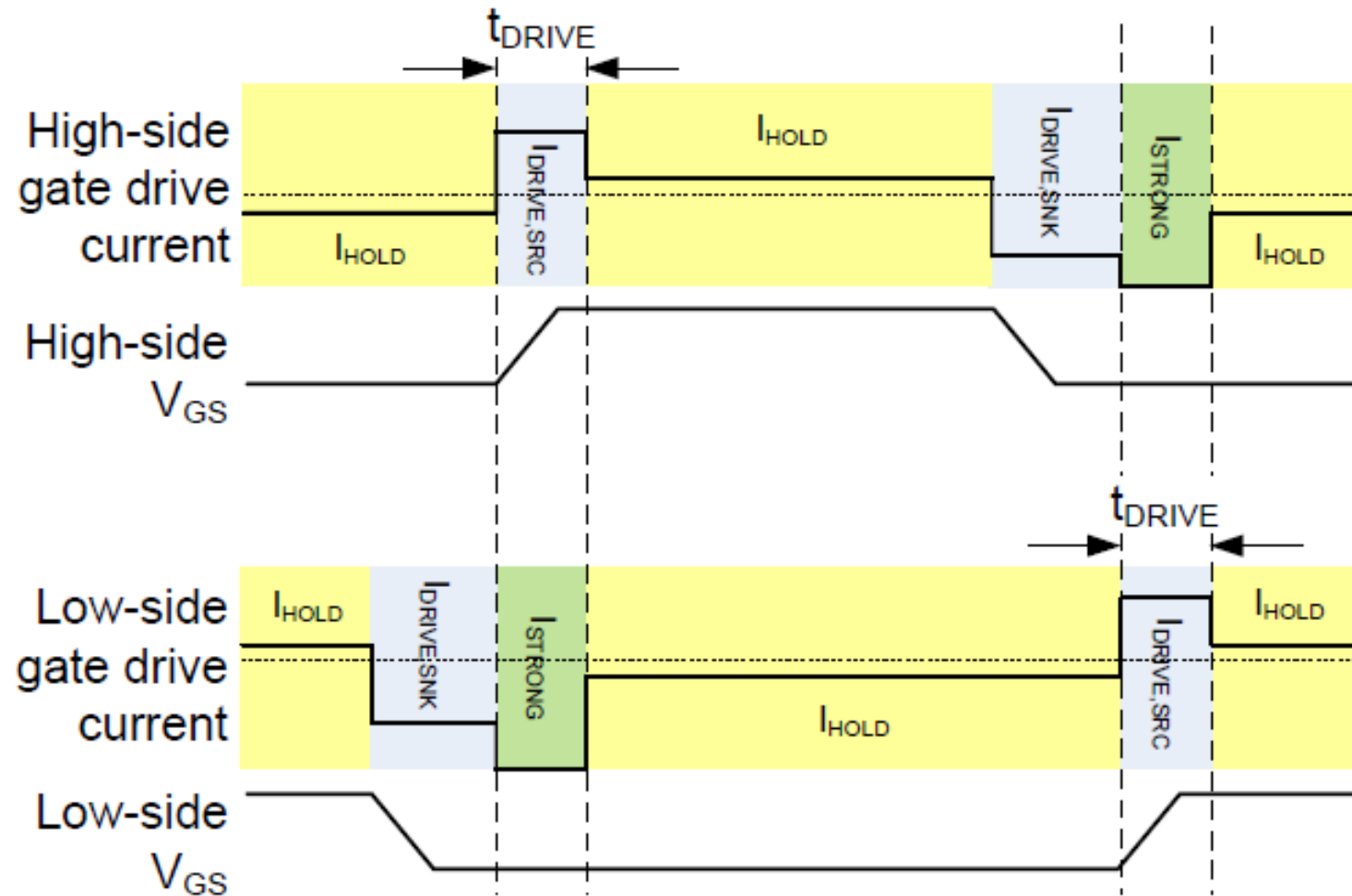


ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ



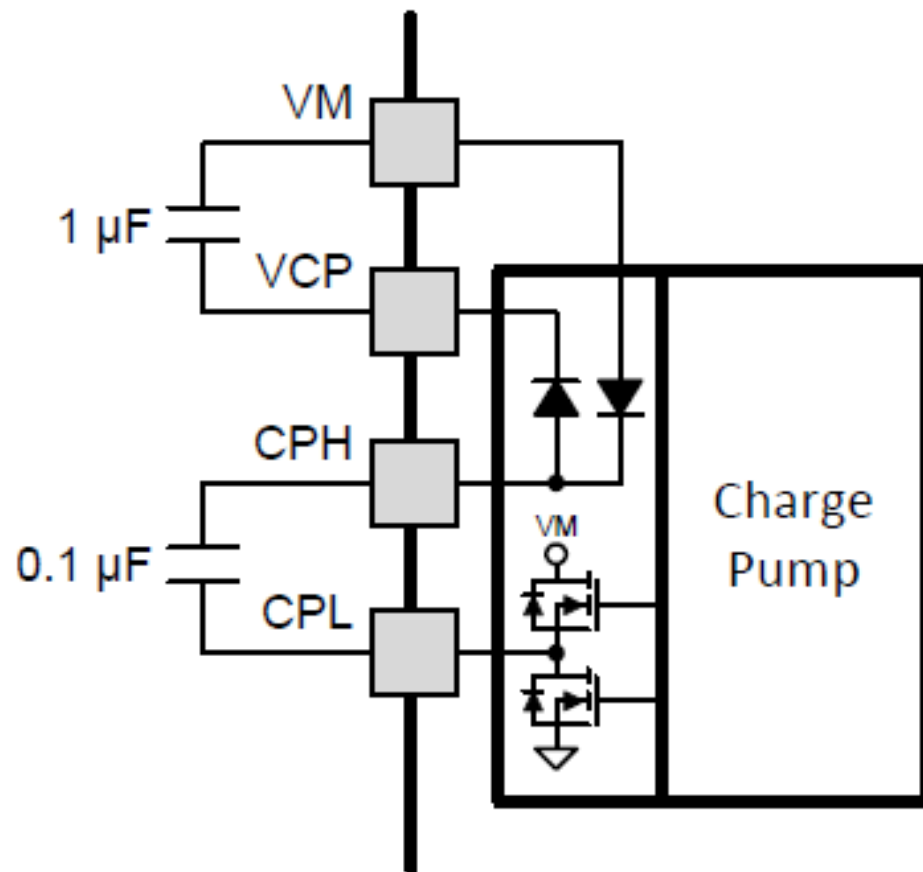
DRV8701 – схема за управление на пълен мост – блокова схема

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

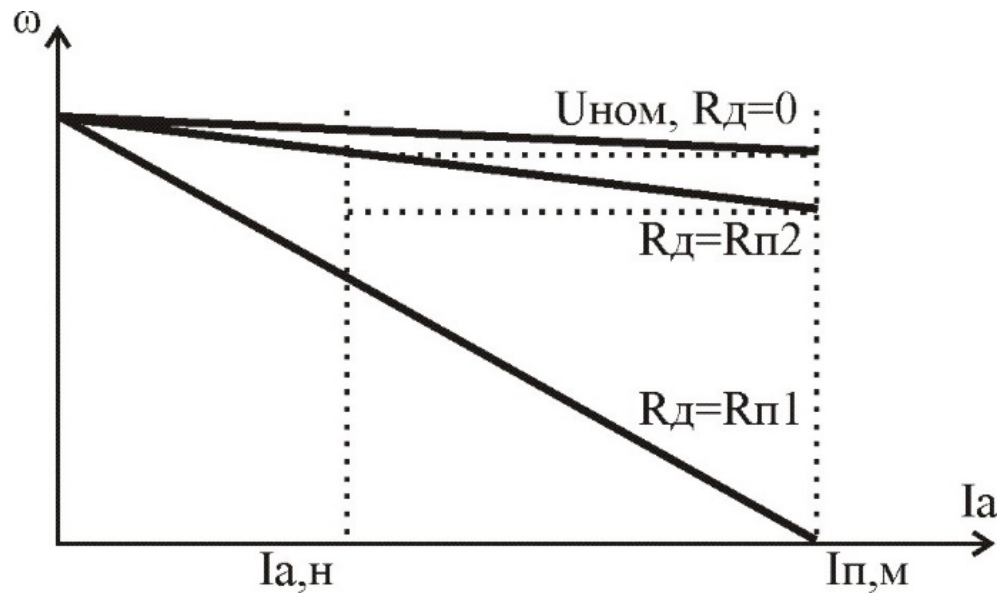
В първия момент след включването роторът на двигателя не се върти, поради което липсва противо- е.д.н. ($E=c\Phi\omega=0$) и началният пусков ток е много голям. Тъй като съпротивлението на котвената намотка е малко, пусковият ток превишава номиналния 10 – 30 пъти. Този голям пусков ток е опасен за колектора 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).

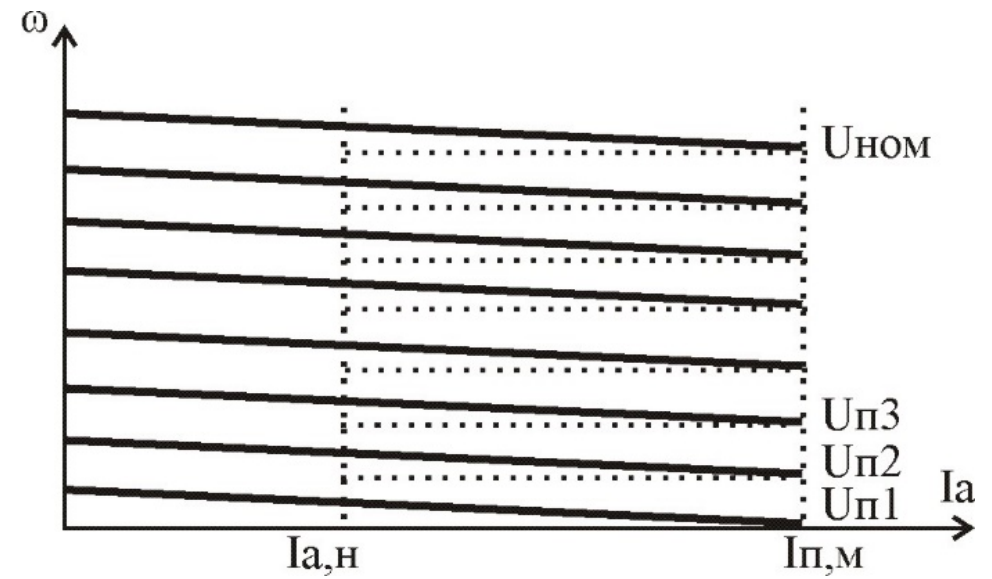
ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток



С добавъчен резистор

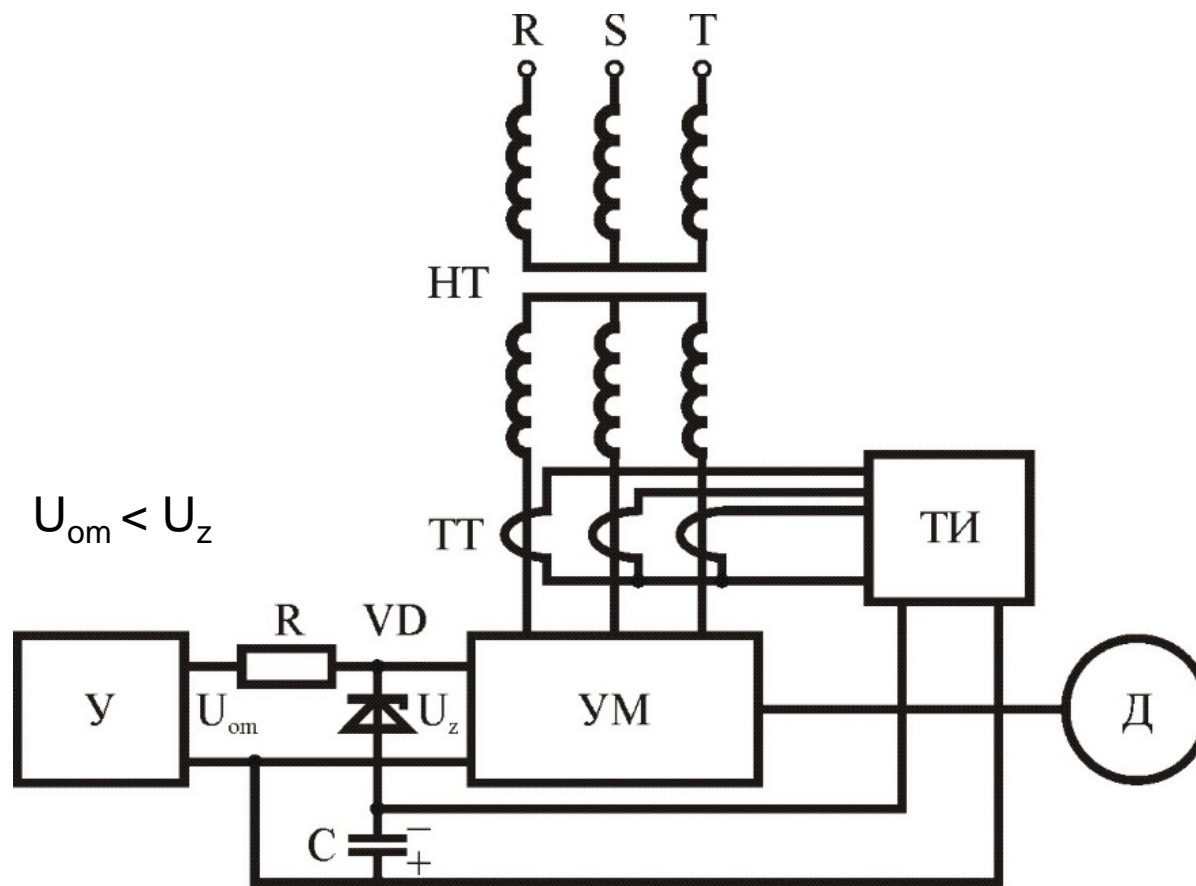


С промяна на захранващото напрежение

ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

Регулиране на пусковия ток по схема за токоограничение с отсечка



ПОСТОЯННОТОКОВО ЗАДВИЖВАНЕ

Регулируемо задвижване

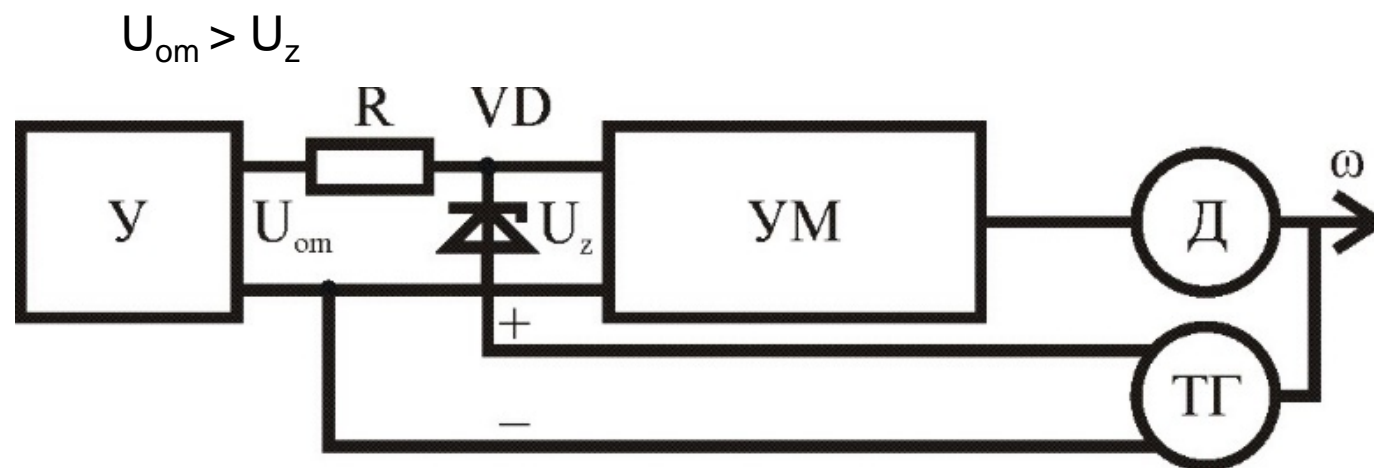
Регулиране на пусковия ток по схема за токоограничение с отсечка

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

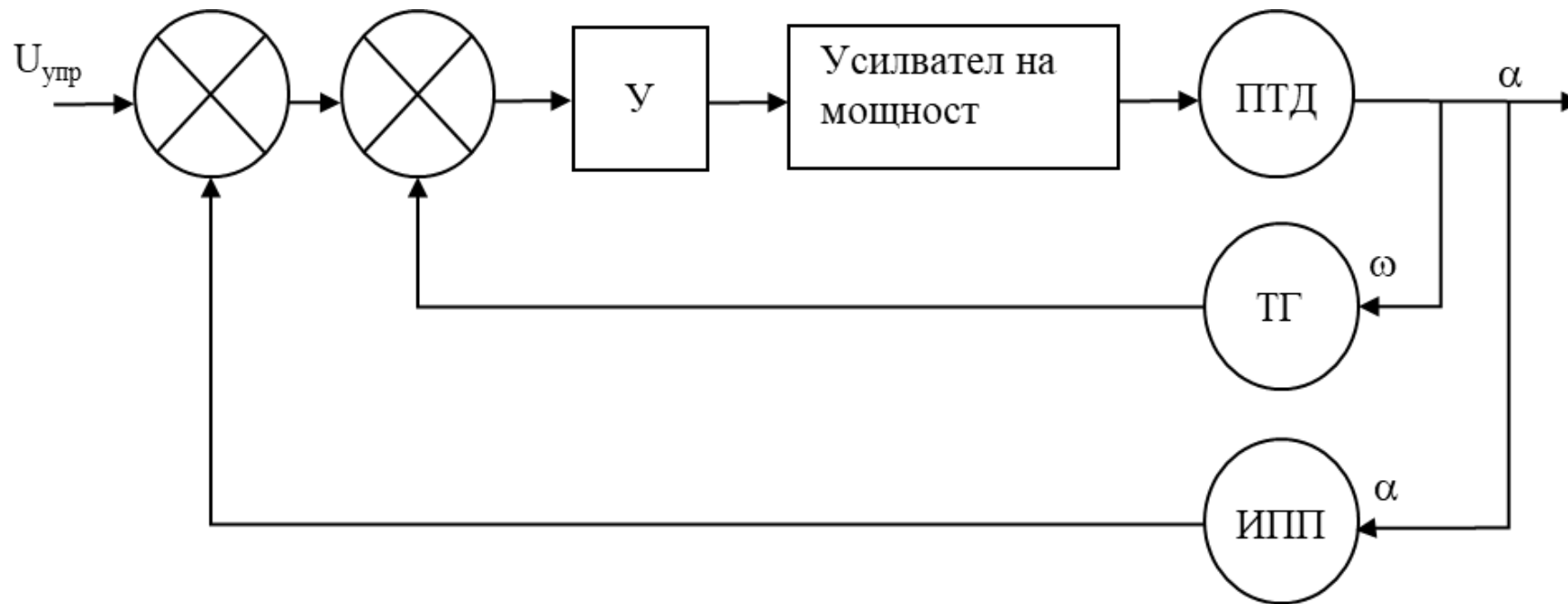
Регулируемо задвижване

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.