

## ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

Изпълнителните механизми преобразуват енергията в движение (преместване) на различни работни органи. Тези работни органи са многообразни за различни дейности – инструменти (ножове, фрези, свредла) в машиностроенето, манипулатори, транспортни средства в междуоперационния транспорт, седалки, огледала и др. в автомобила и т.н.

Класификация на изпълнителните механизми може да се направи по различни показатели:

- Според предавателната характеристика:

- дискретни (най-често с две изходни състояния) – релета, контактори, клапани, разпределители;
- аналогови (с голям брой изходни състояния) – двигатели, пропорционални разпределители.

Въпросът при някои видове двигатели, напр. стъпкови, има две страни. Те се управляват с импулси и могат да останат дълго време в едно изходно положение.

- Според вида на използваната енергия:

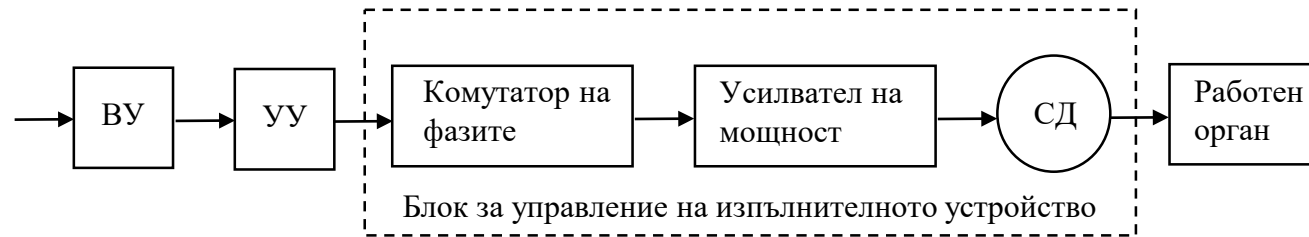
- електрически;
- пневматични – бързи, с по-малка изходна мощност;
- хидравлични – по-бавни, с по-голяма изходна мощност от пневматичните;
- пиезоелектрични – висока точност на позициониране ( $<1\mu\text{m}$ ).

## ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

Според вида на сигналите блокът за управление на изпълнителното устройство може да бъде аналогов, импулсен и кодов. Блоквата му схема може да бъде отворена или затворена.

Аналогови отворени схеми не се използват поради невъзможността за компенсиране на грешките на последователно свързаните звена.

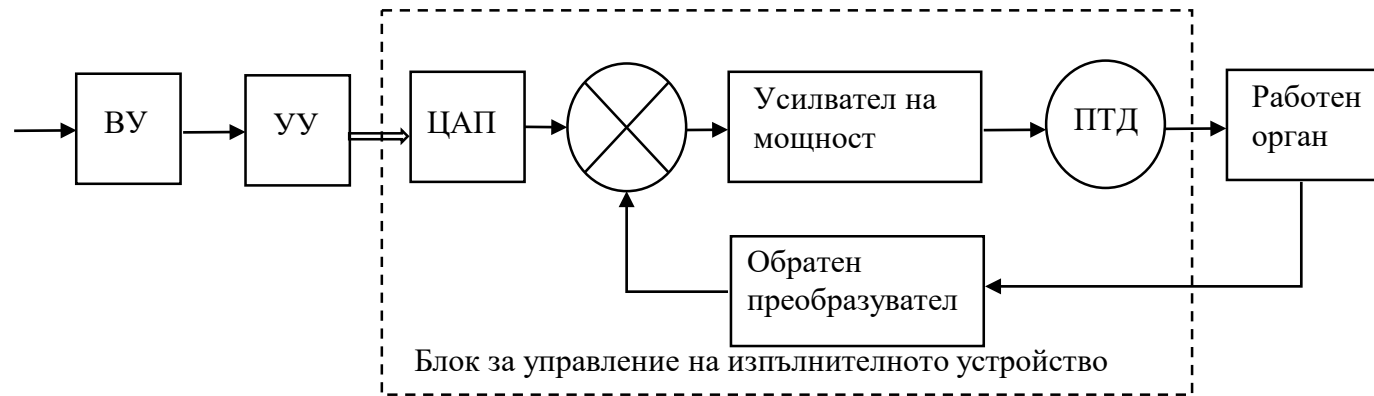
Импулсна отворена схема може да се използва със стъпков изпълнителен двигател.



При тези схеми за управление се използва стъпков двигател като преместването се определя от броя импулси, постъпили към комутатора на фазите, а скоростта се определя от честотата на тези импулси.

## ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

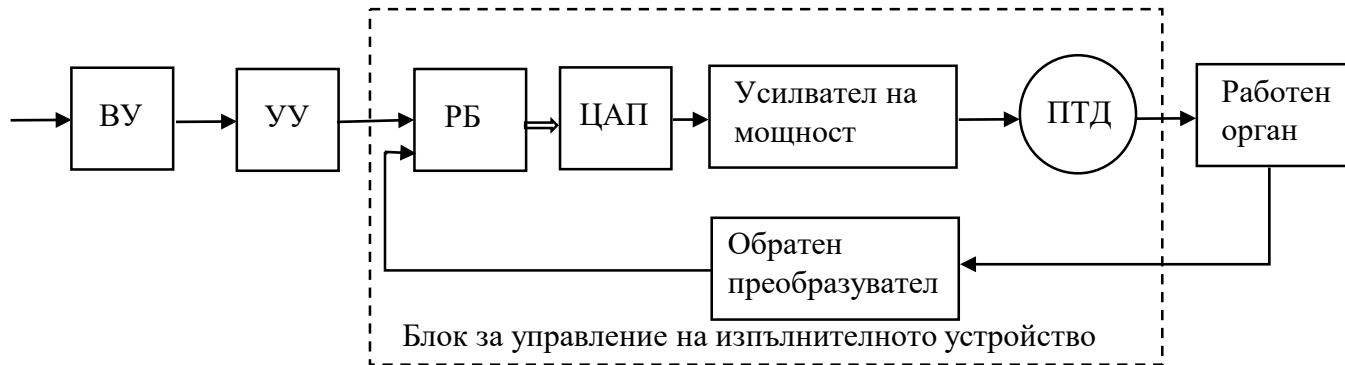
Аналогова затворена схема може да се използва с въвеждане на обратна връзка по положение и постояннотокков изпълнителен двигател.



При тези схеми за управление се използва постояннотокков двигател като преместването се следи чрез обратен преобразувател за преместване. В случая той трябва да има аналогов изходен сигнал – напр. въртящ трансформатор (резолвер).

## ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

Импулсна затворена схема може да се реализира с въвеждане на обратна връзка по положение с подходящ преобразувател и постояннотоков изпълнителен двигател.



При тези схеми за управление се използва постояннотоков двигател като преместването се следи чрез обратен преобразувател за преместване. Като сравняващо устройство се използва реверсивен брояч (РБ), който формира кода за ЦАП като разлика от броя импулси, получени от управляващото устройство и обратния преобразувател. Той в случая трябва да има импулсен изход – импулсен енкодер.

## ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

Кодова затворена схема може да се реализира с въвеждане на обратна връзка по положение с подходящ преобразувател и постояннотоков изпълнителен двигател.



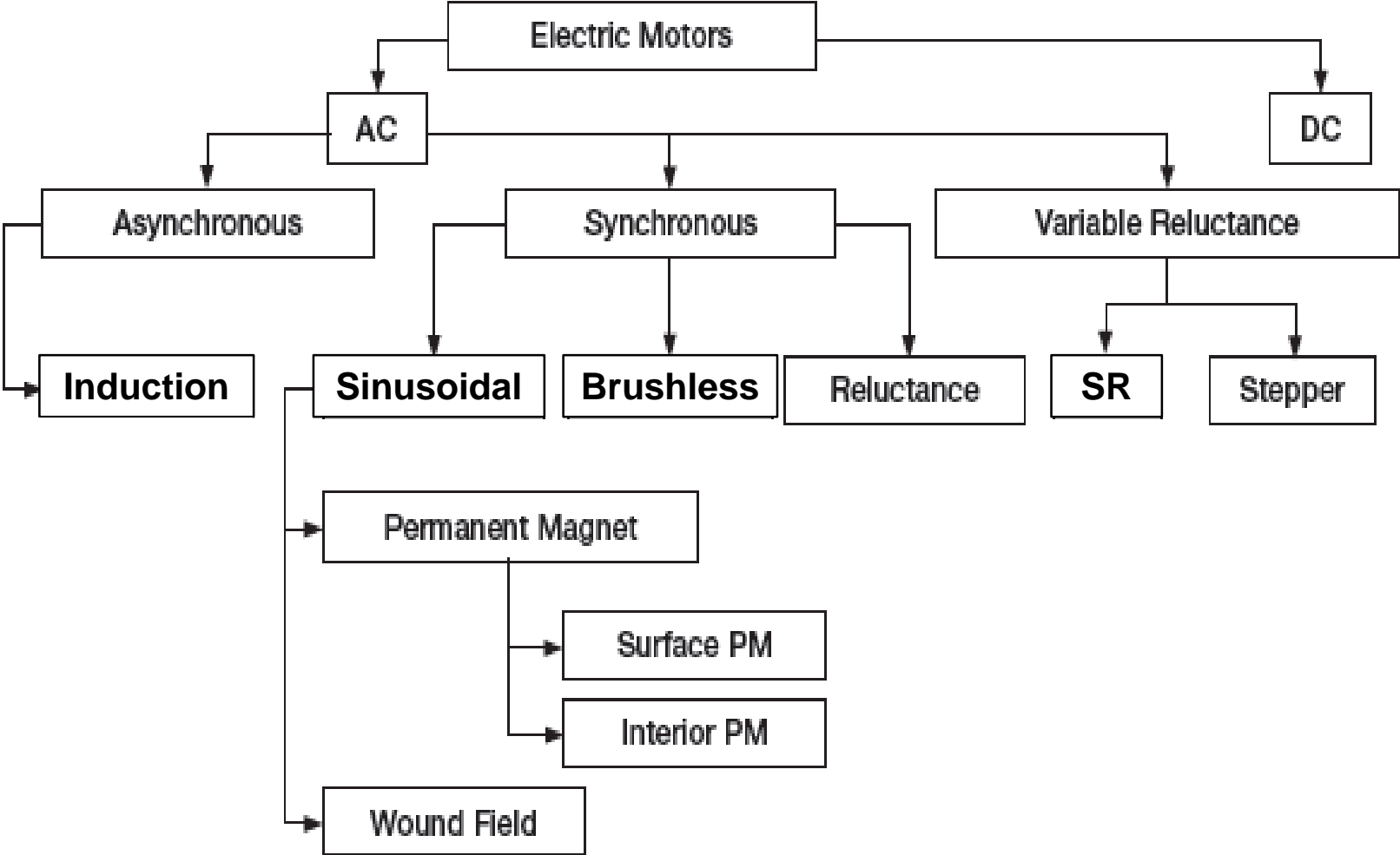
В случая се използва постояннотоков двигател като преместването се следи чрез обратен преобразувател за преместване. Като сравняващо устройство се използва суматор, който формира кода за ЦАП като разлика от кодовете за позицията, получени от управляващото устройство и обратния преобразувател. Той в случая трябва да има кодов изход – абсолютен енкодер.

Всички тези блокове с изключение на усилвателя на мощност могат да бъдат реализирани и програмно.

## Изисквания към електрозадвижванията

- Минимизиране на енергийните загуби
- Опазване на природата от замърсяване
- Намаляване на акустичния шум и хармониците
- Повишаване на отношението качество-цена
- Повишаване на ефективността, гъвкавостта и устойчивостта
- Повишаване на безопасността и надеждността
- Намаляване на размерите и теглото
- Разширяване на цифровото управление и намаляване използването на аналогови компоненти
- Намаляване на крайната цена

# Видове изпълнителни двигатели



## Видове изпълнителни двигатели



**ACIM**



**DC**



**BLDC**



**Stepper**



**PMSM**



# Асинхронни двигатели

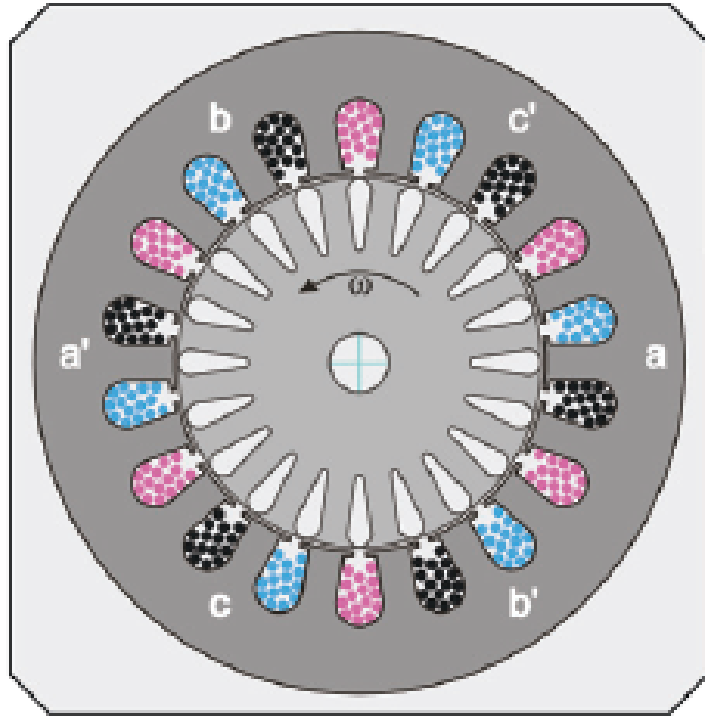
## Предимства

- Ниска цена за еднаква мощност (няма постоянни магнити)
- Присъщо асинхронно действие (директно свързване към АС мрежа)
- Лесно подържане (без комутатори) и здрава конструкция
- Предлагат се за широк диапазон на изменение на мощността
- Лесно управление на скоростта с тахогенератор
- Честотно управление (volt per hertz)

## Недостатъци

- Неефективен при малко натоварване
- Промяната на температурата на ротора затруднява безсензорното управление
- Управлението на скоростта изисква промяна на честотата
- Затруднено управление при позициониране

## Асинхронни двигатели



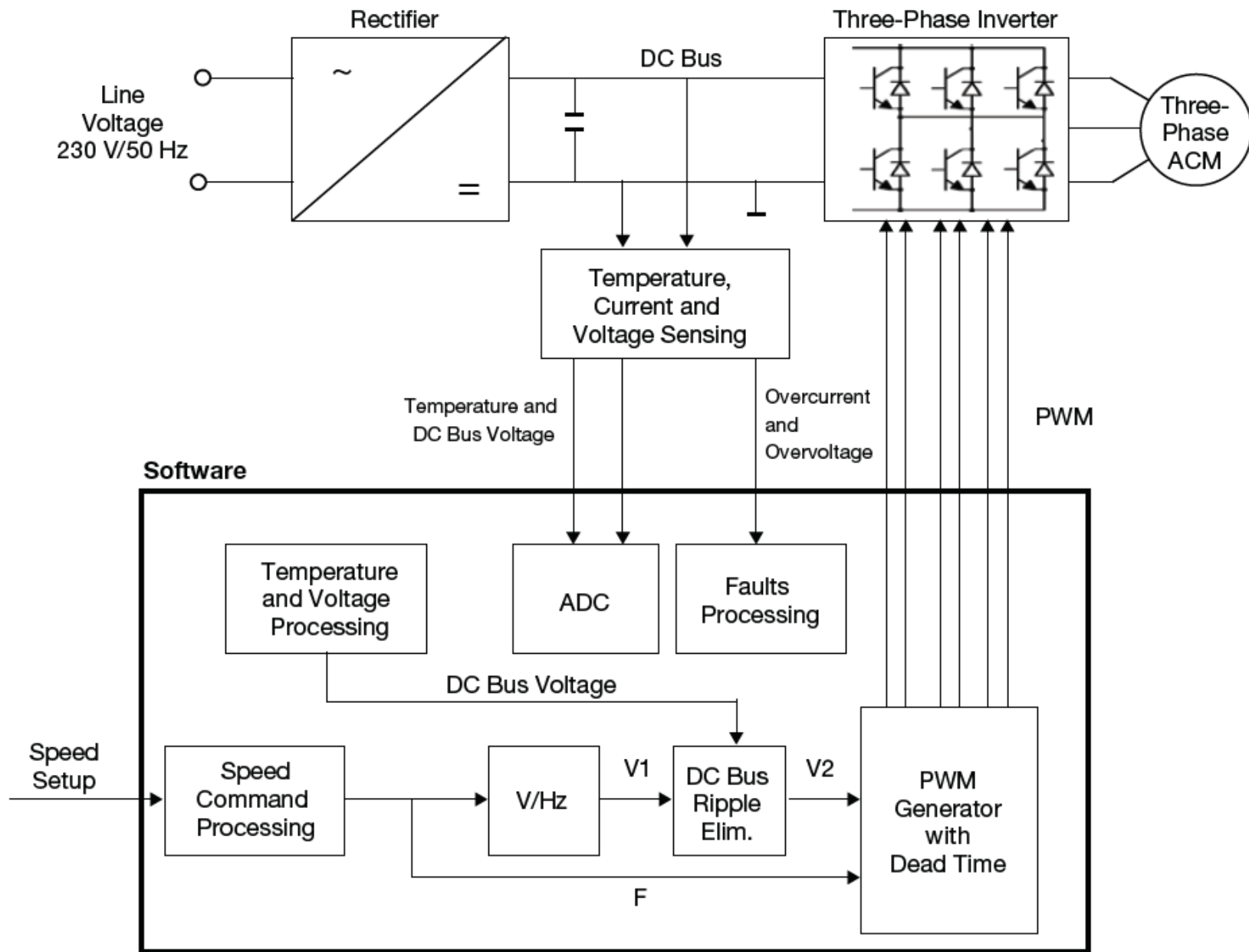
$$synchron\_speed[rpm] = \frac{60 \cdot supply\_frequency[Hz]}{no\ of\ pole\ pairs\ [-]}$$

$$synchron\_speed = \frac{60 \cdot 50Hz}{3} = \mathbf{1000\ rpm}$$

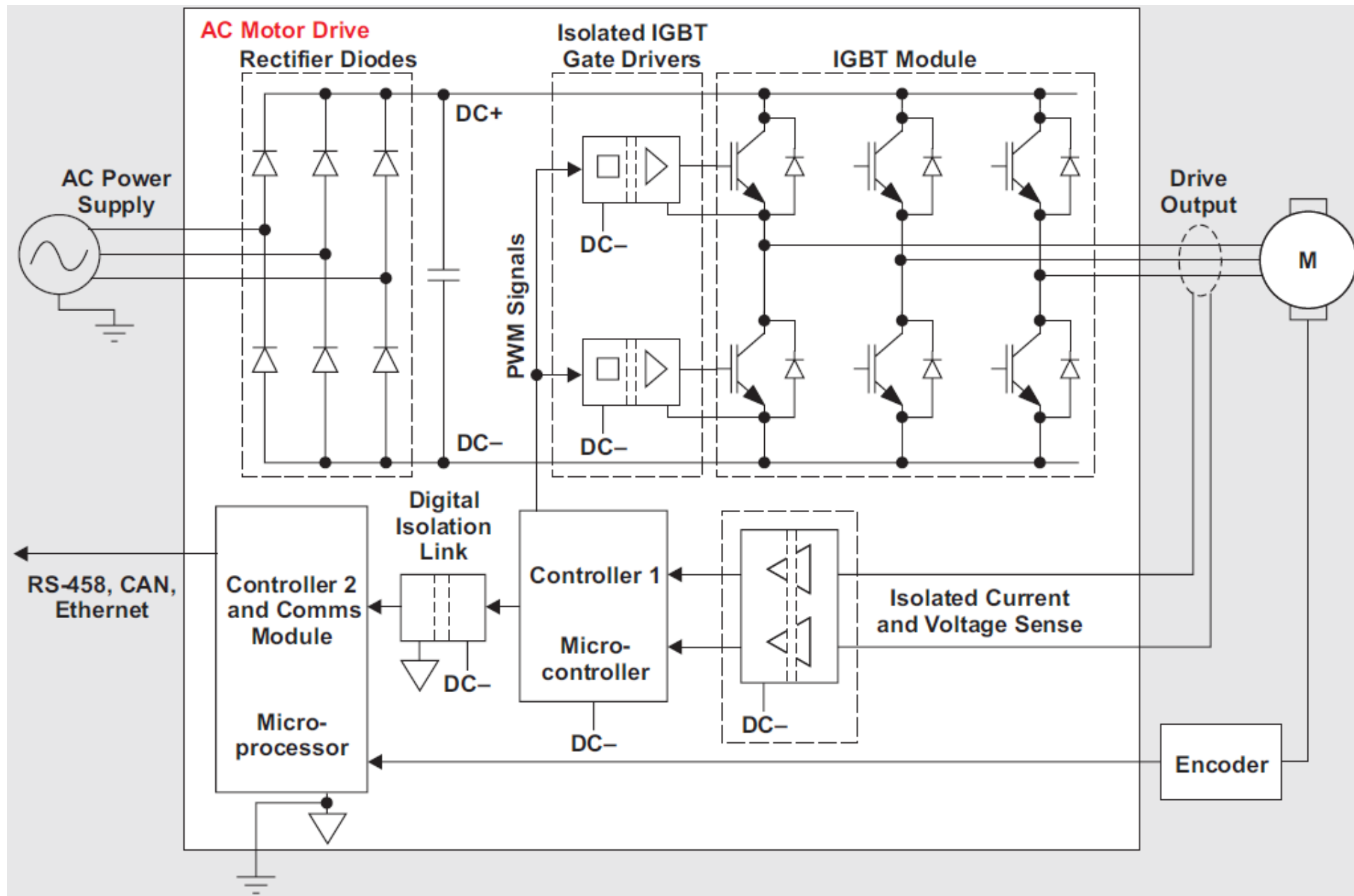
$$slip\_speed = 7\% * 1000\ rpm = \mathbf{70\ rpm}$$

$$\begin{aligned} rated\_speed &= 1000\ rpm - 70\ rpm \\ &= \mathbf{930\ rpm} \end{aligned}$$

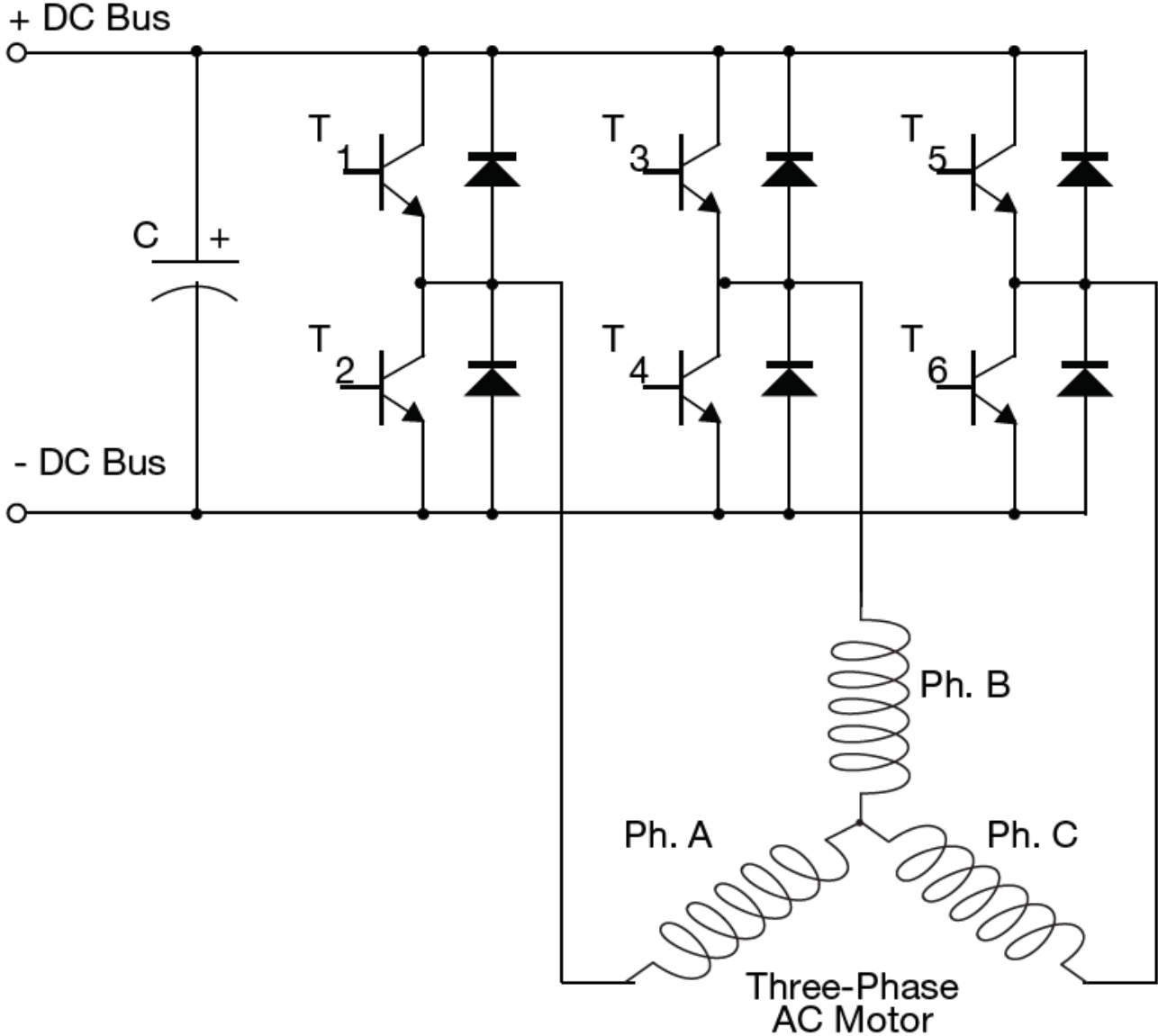
# Асинхронни двигатели



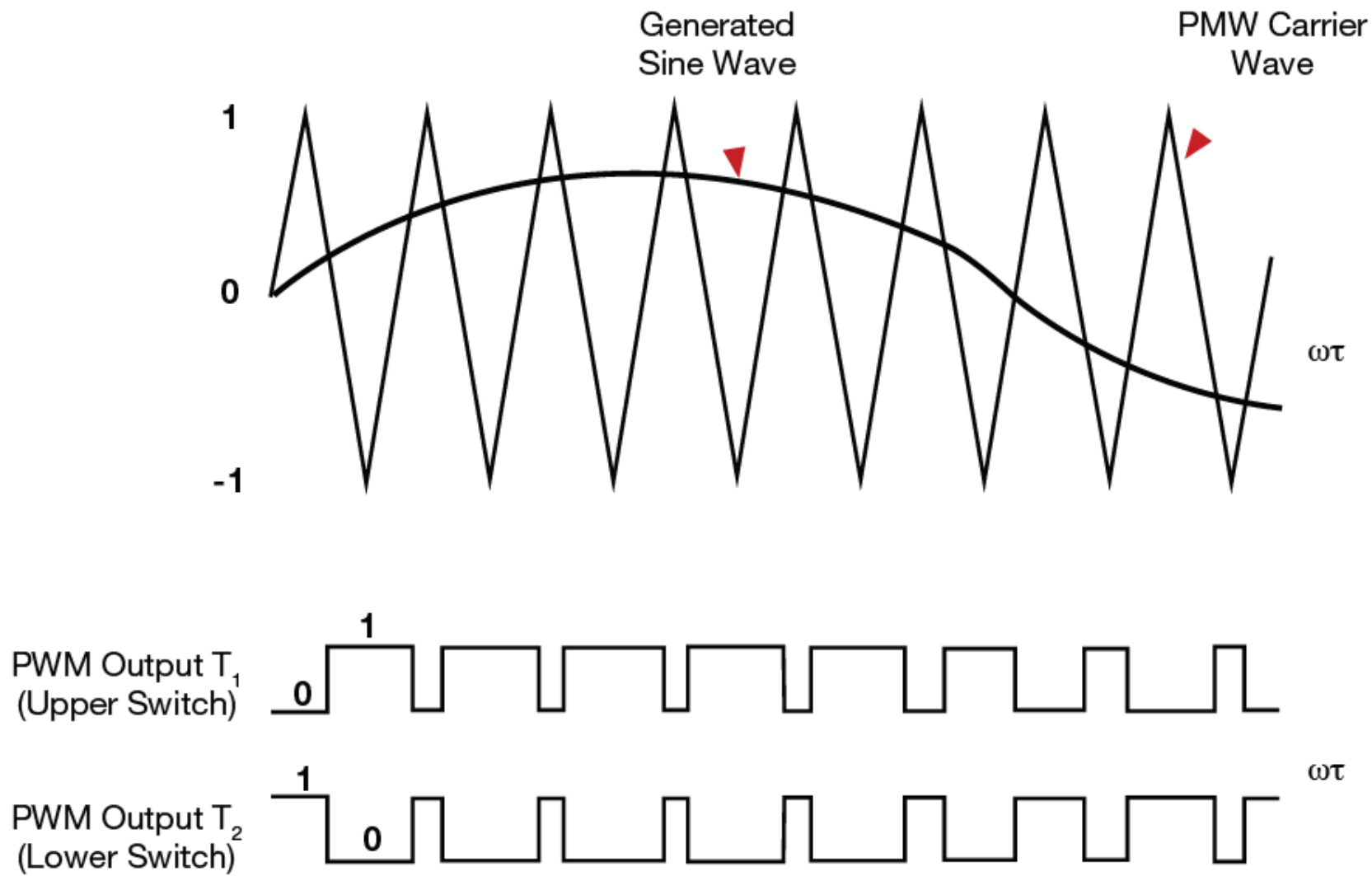
# Асинхронни двигатели



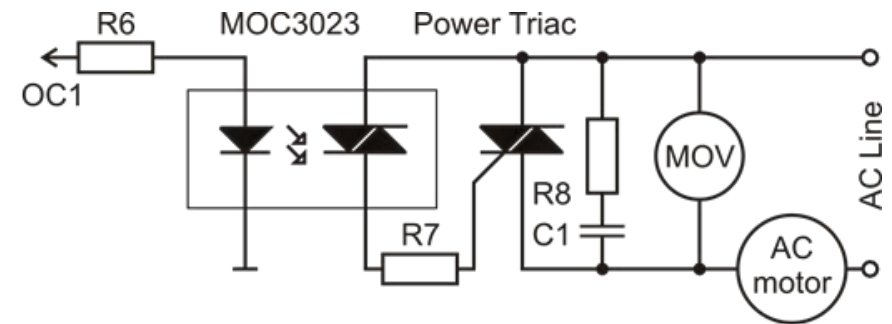
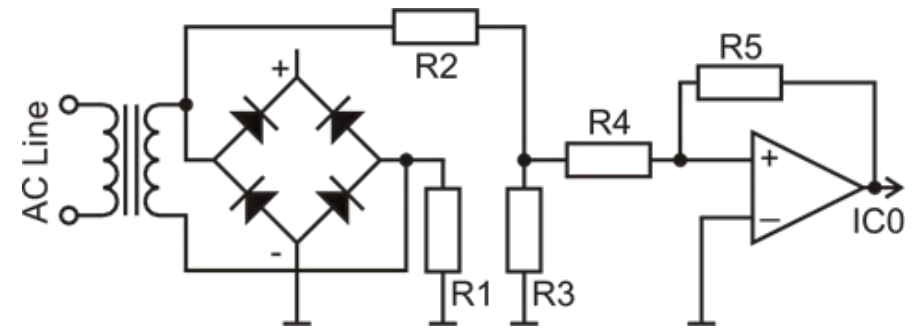
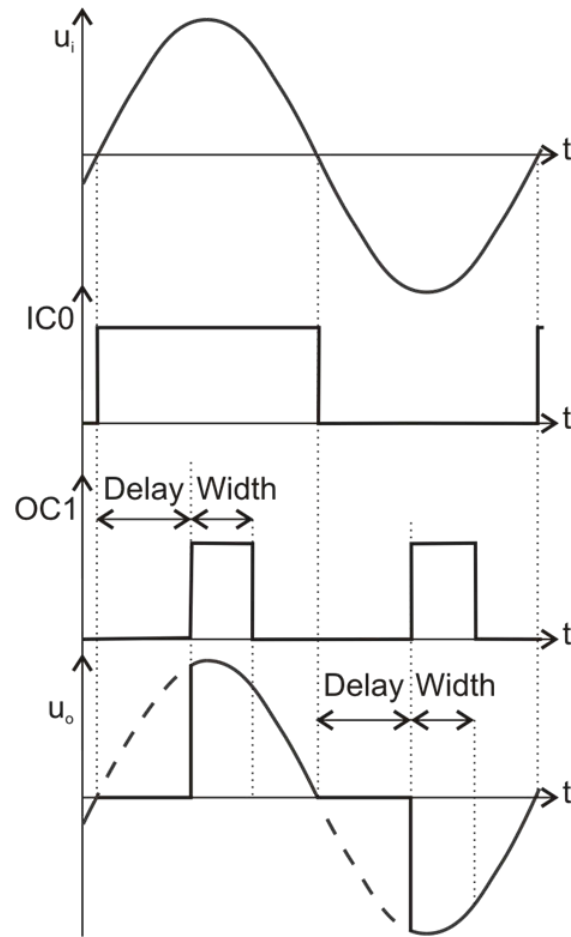
# Асинхронни двигатели



# Асинхронни двигатели

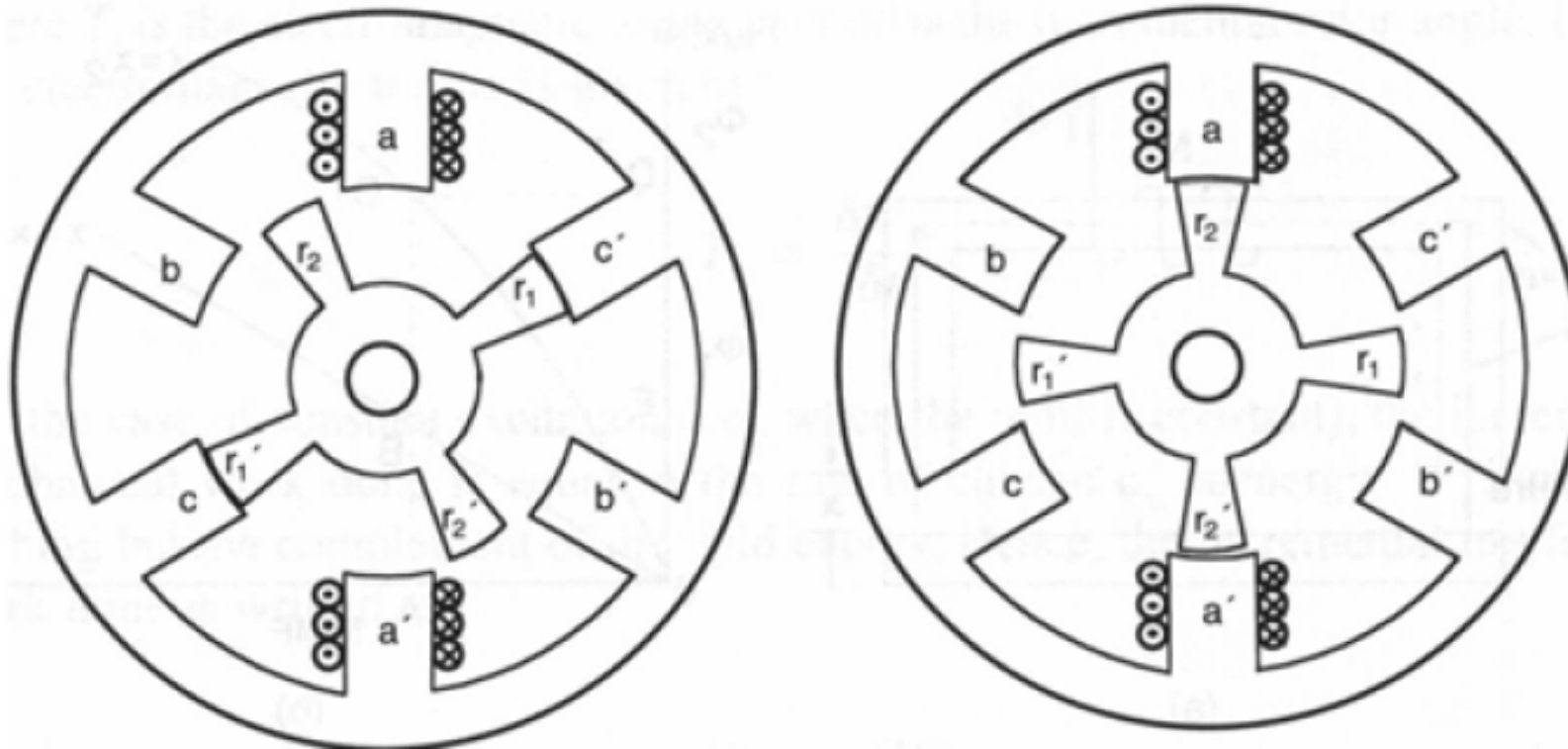


# Асинхронни двигатели



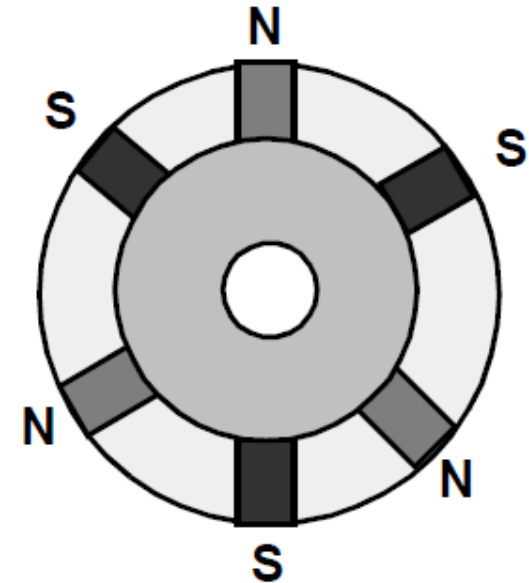
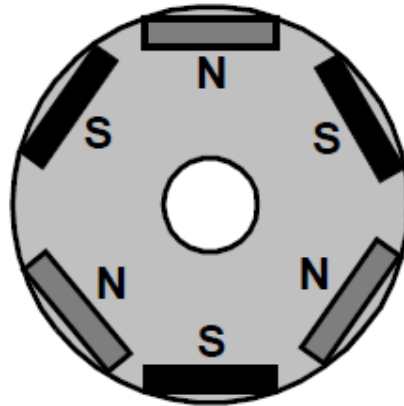
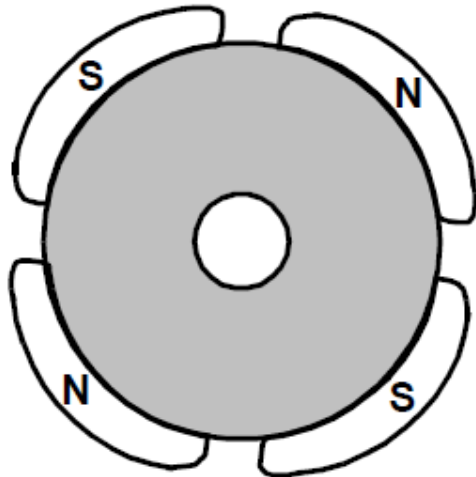
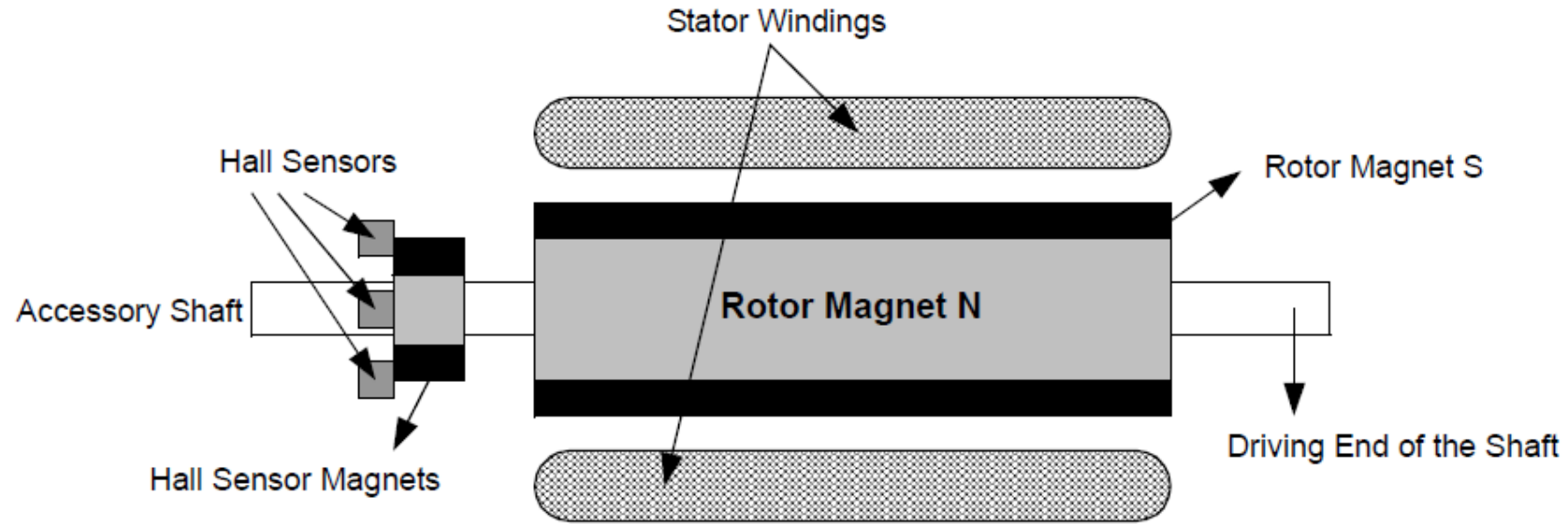
Фазово управление на асинхронен двигател

# Синхронни двигатели с променливо магнитно съпротивление (Switched Reluctance Motor - SRM)

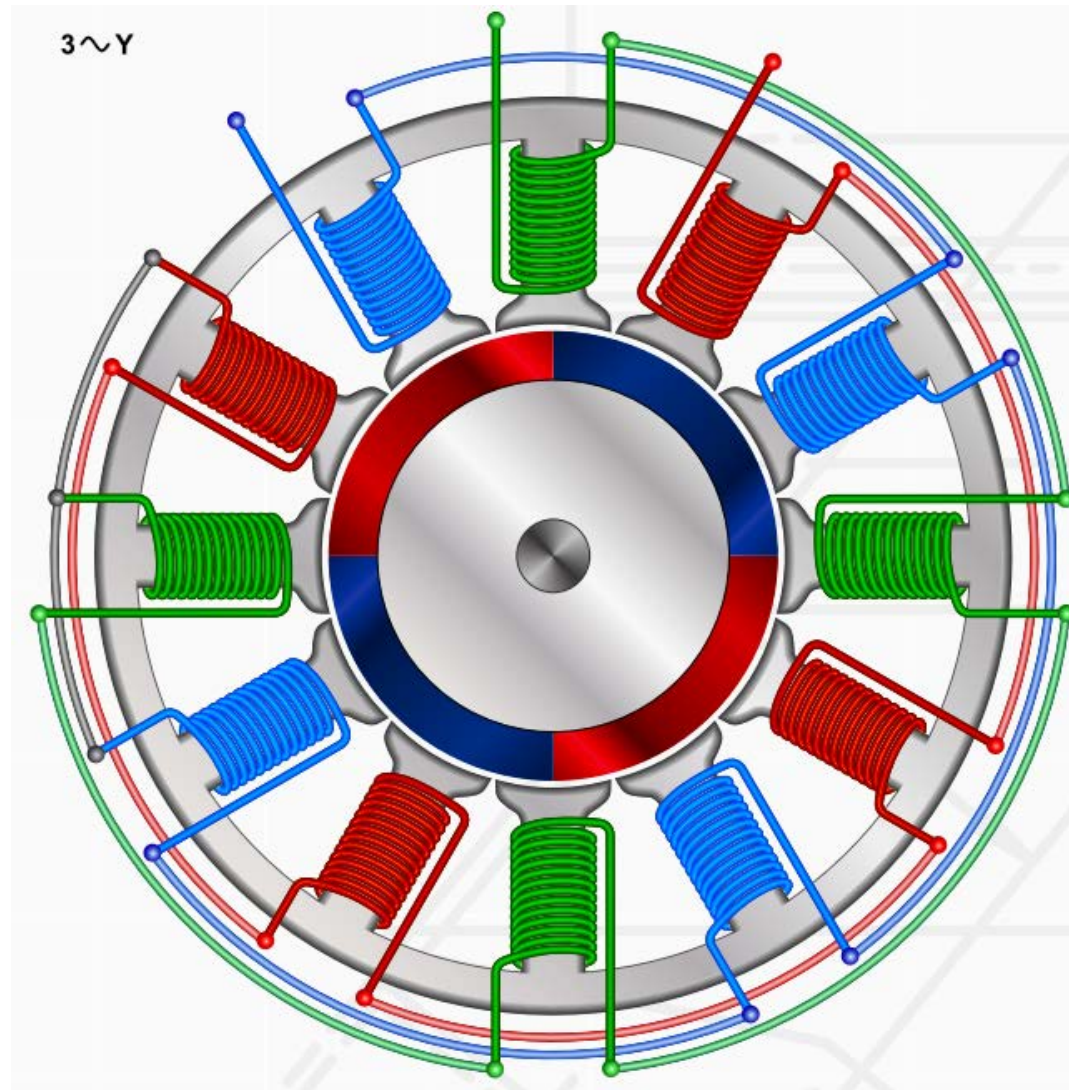




# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



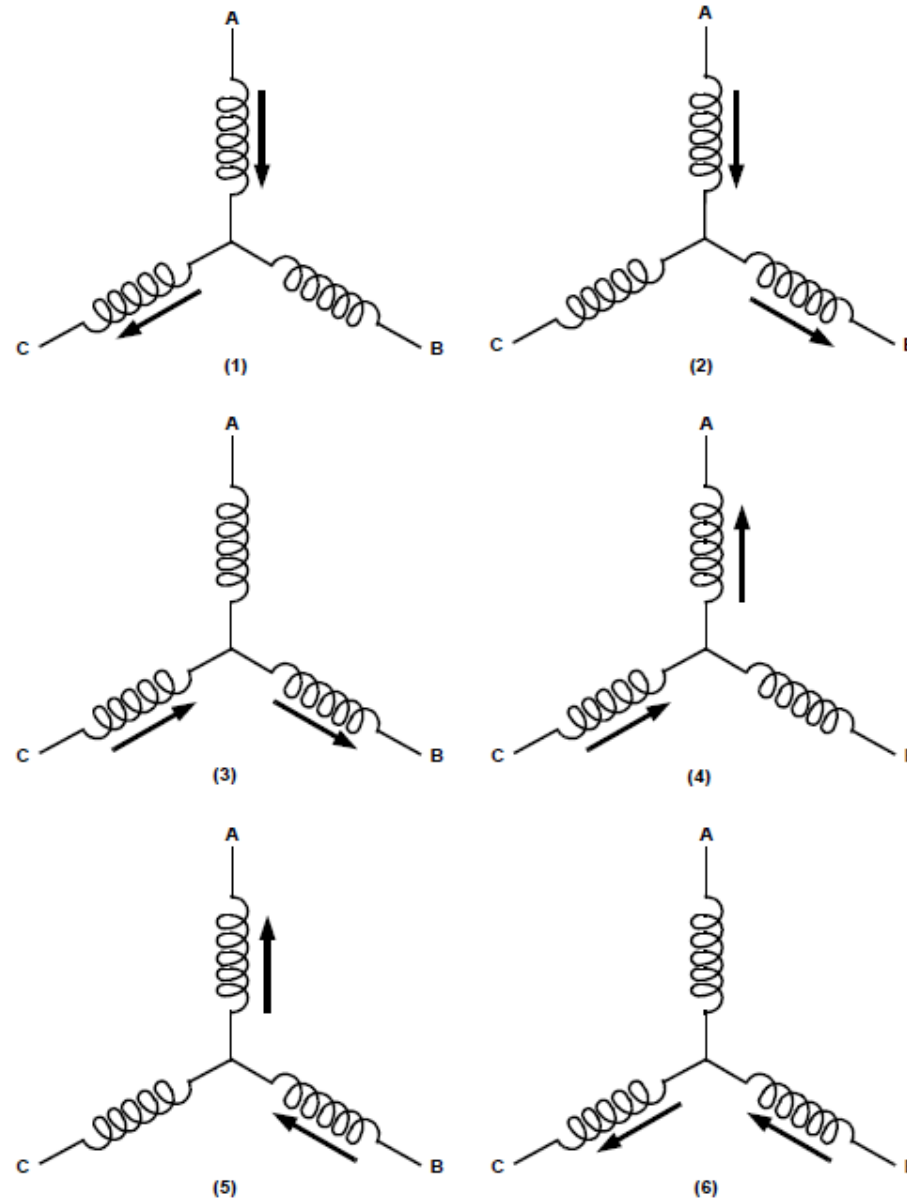
# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



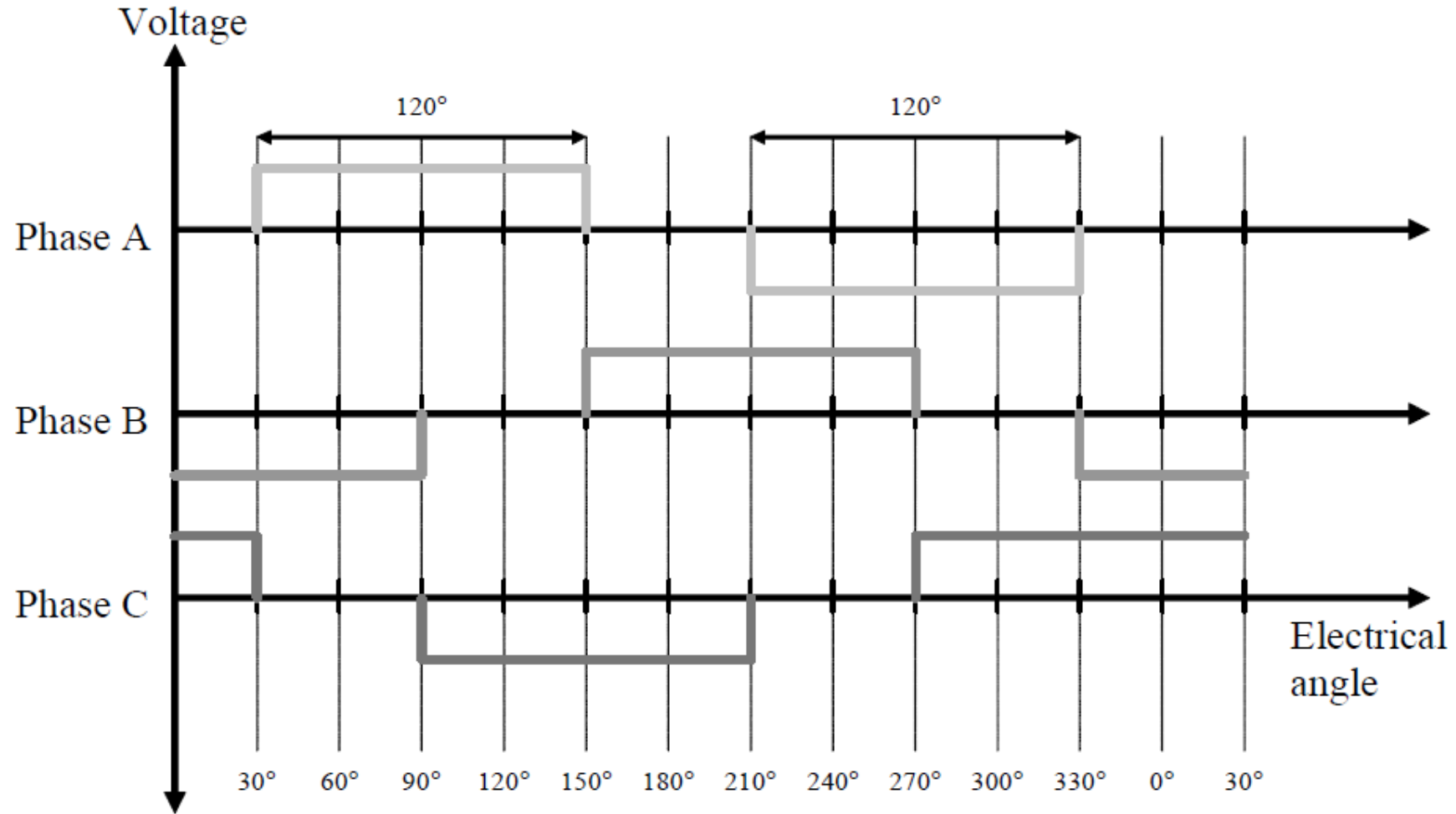
## Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



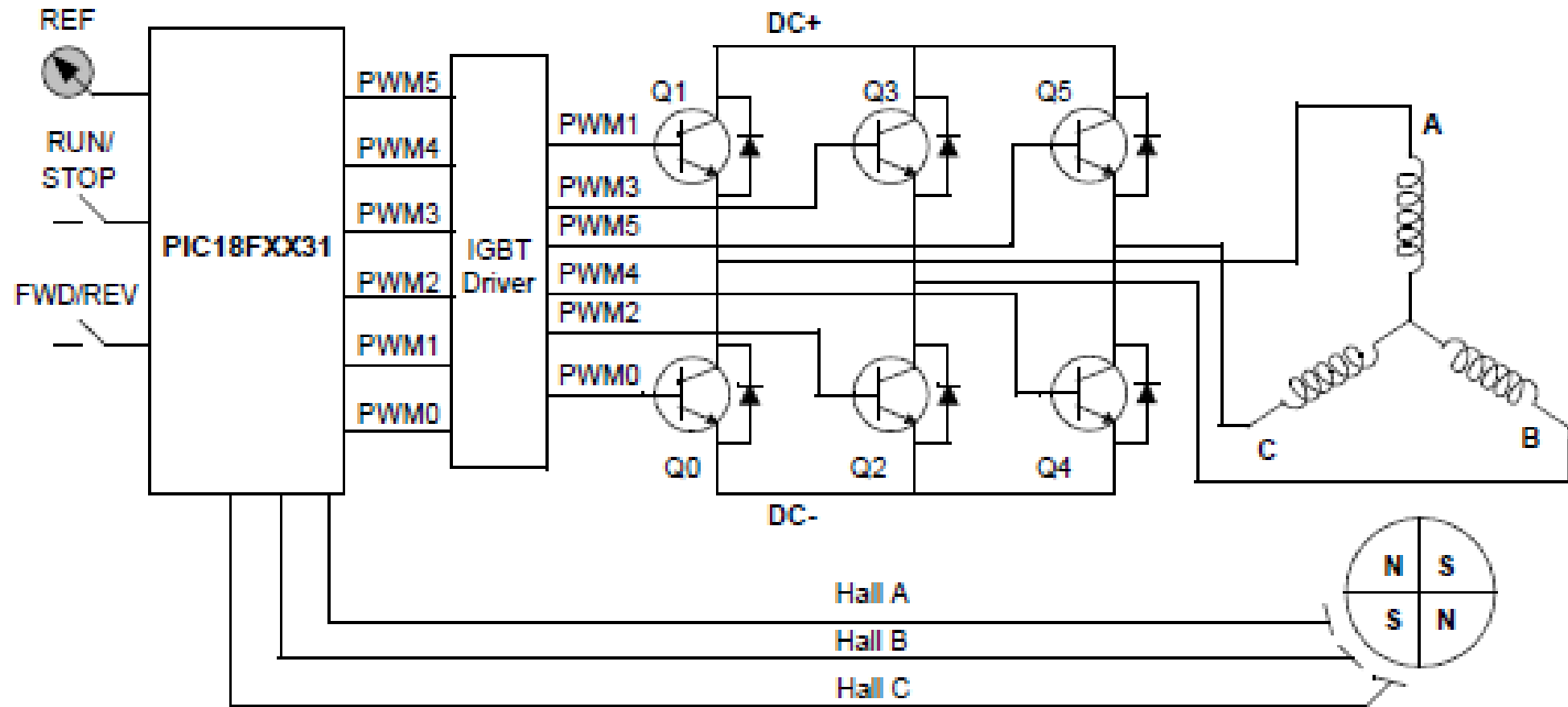
# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



## Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
2	0	0	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	0	0	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+
5	1	1	1	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	1	1	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-

Последователност на включването на статорните намотки за движение по посока на часовниковата стрелка, погледнато от незадвижващия край

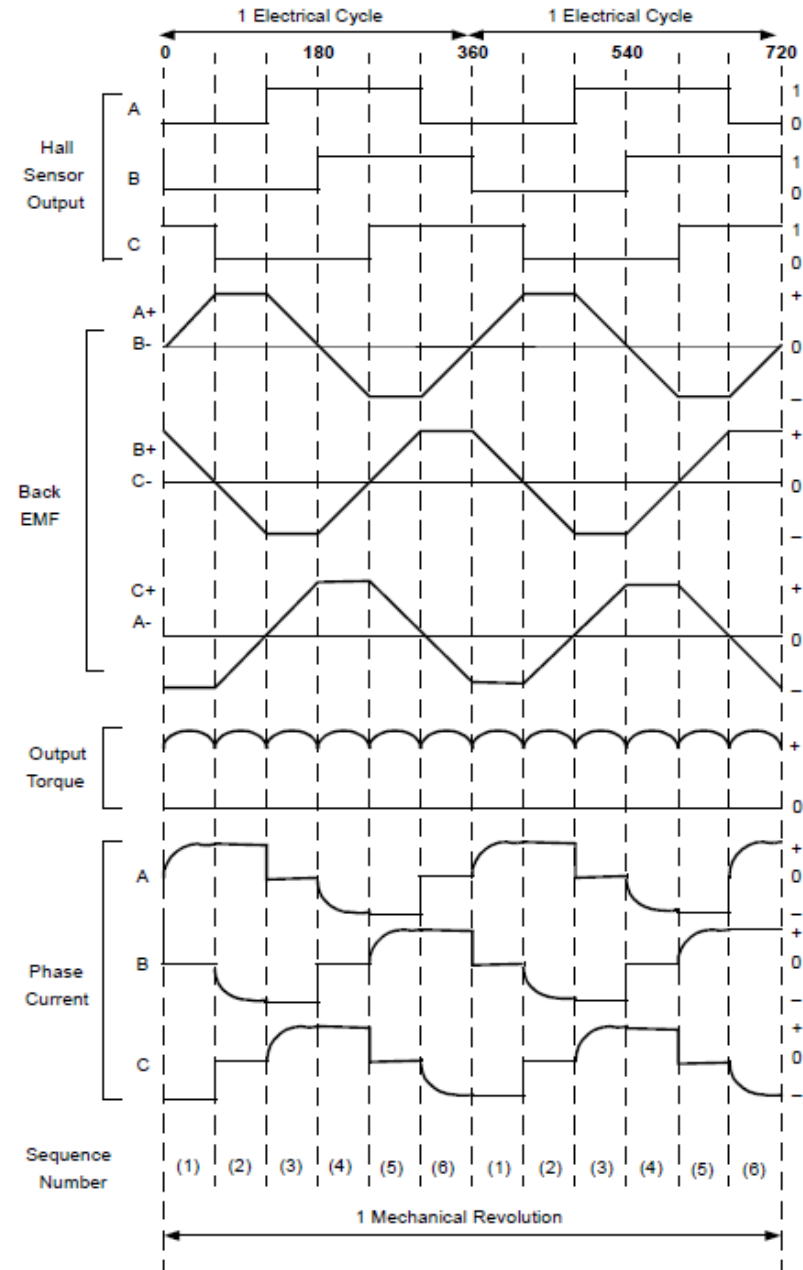
## Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)

Sequence #	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	1	1	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
2	1	1	1	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	1	0	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
4	1	0	0	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-
5	0	0	0	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+

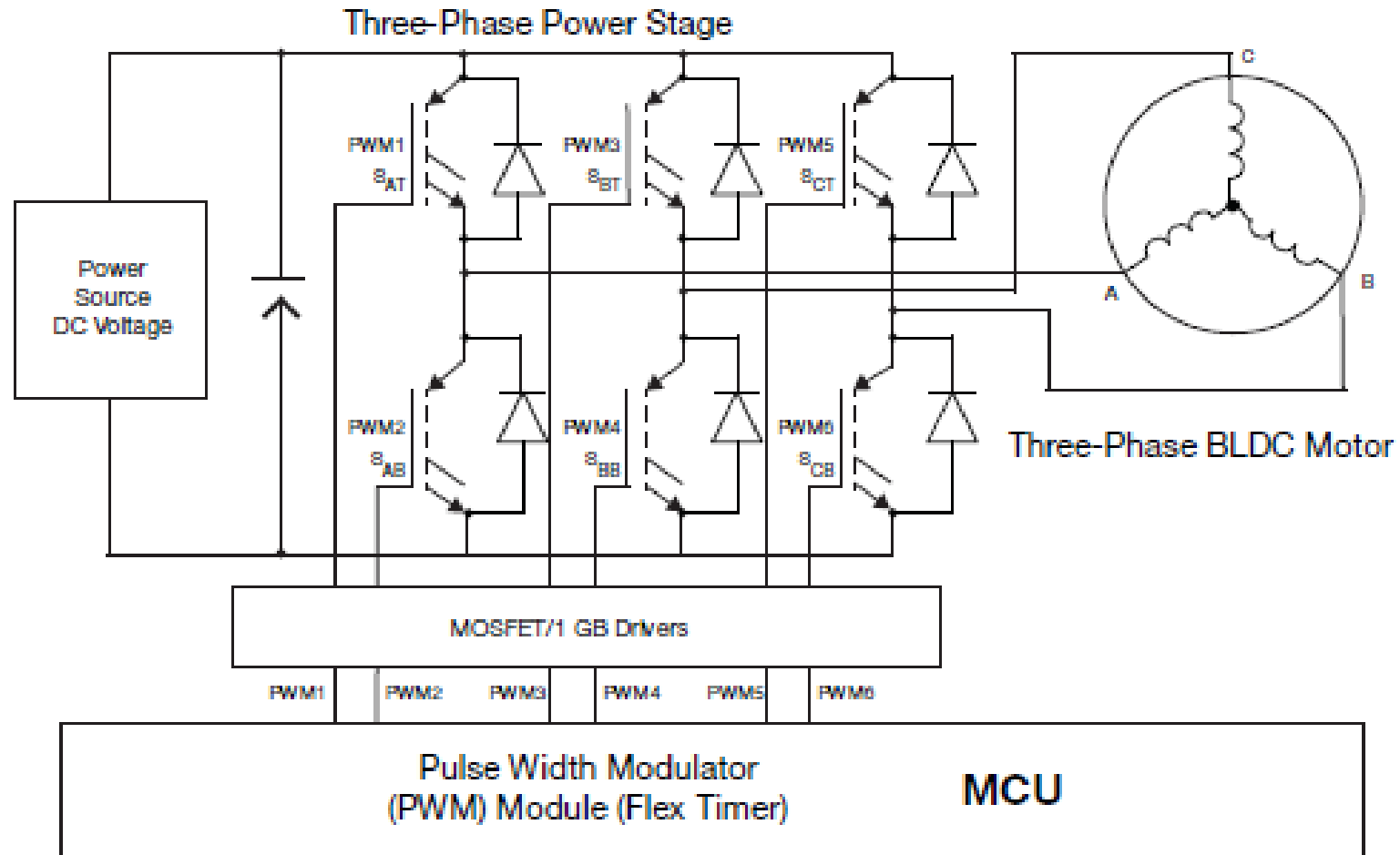
Последователност на включването на статорните намотки за движение по посока, обратна на часовниковата стрелка, погледнато от незадвижващия край



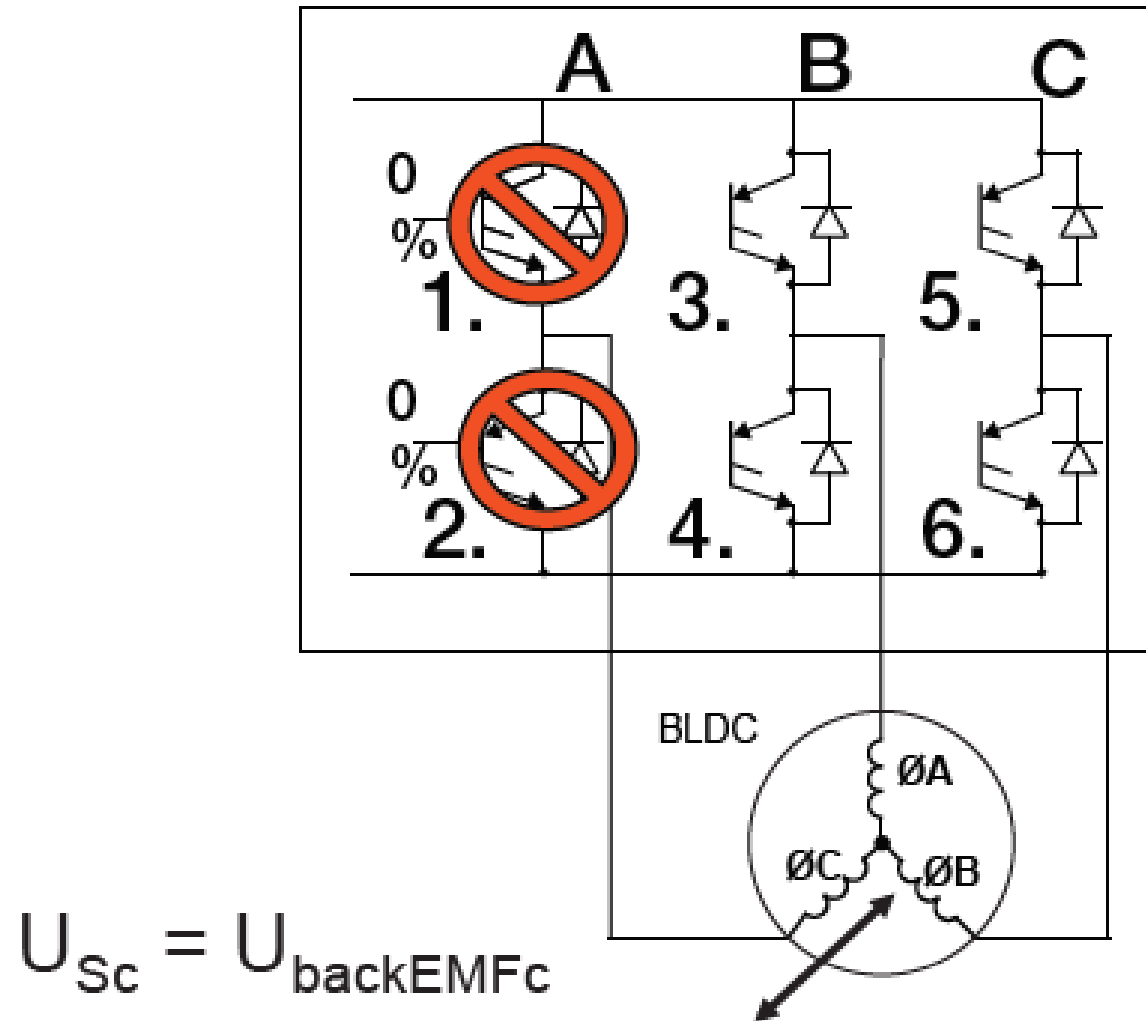
# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



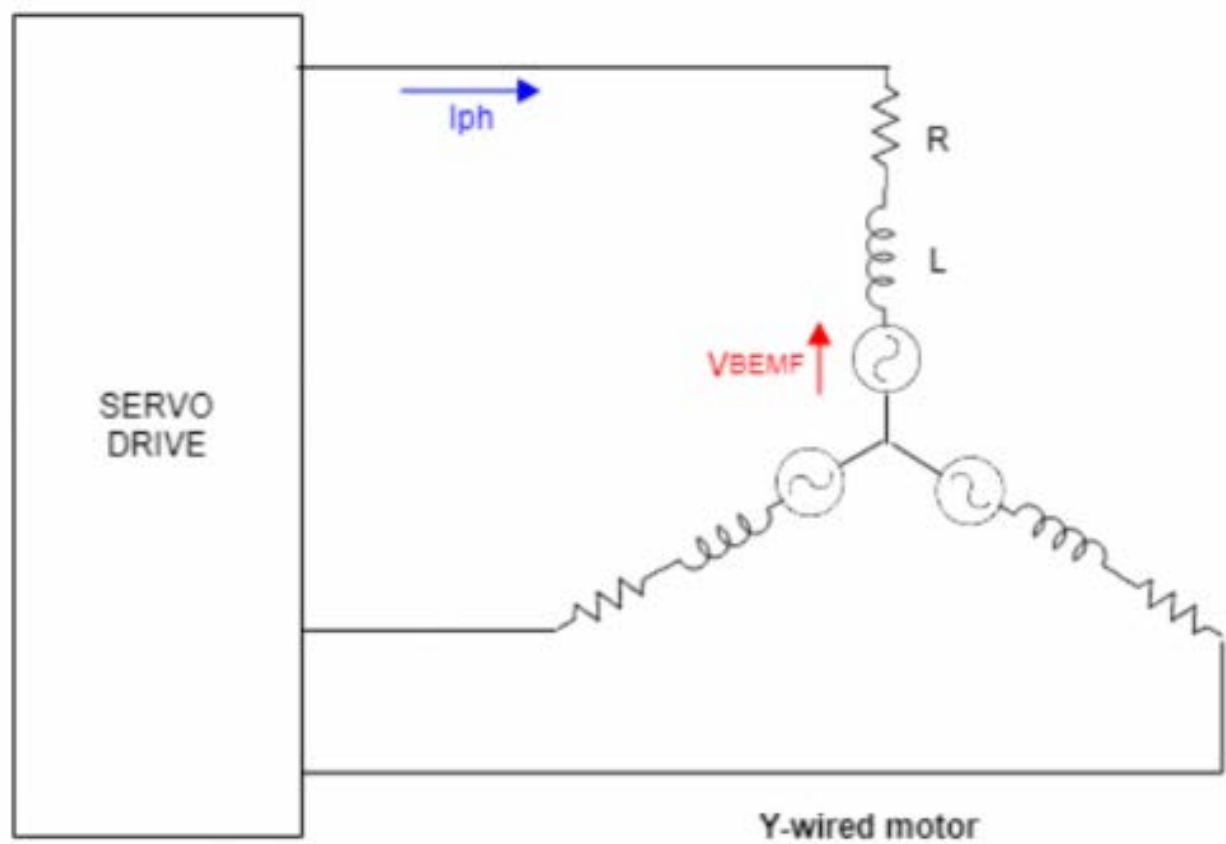
# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



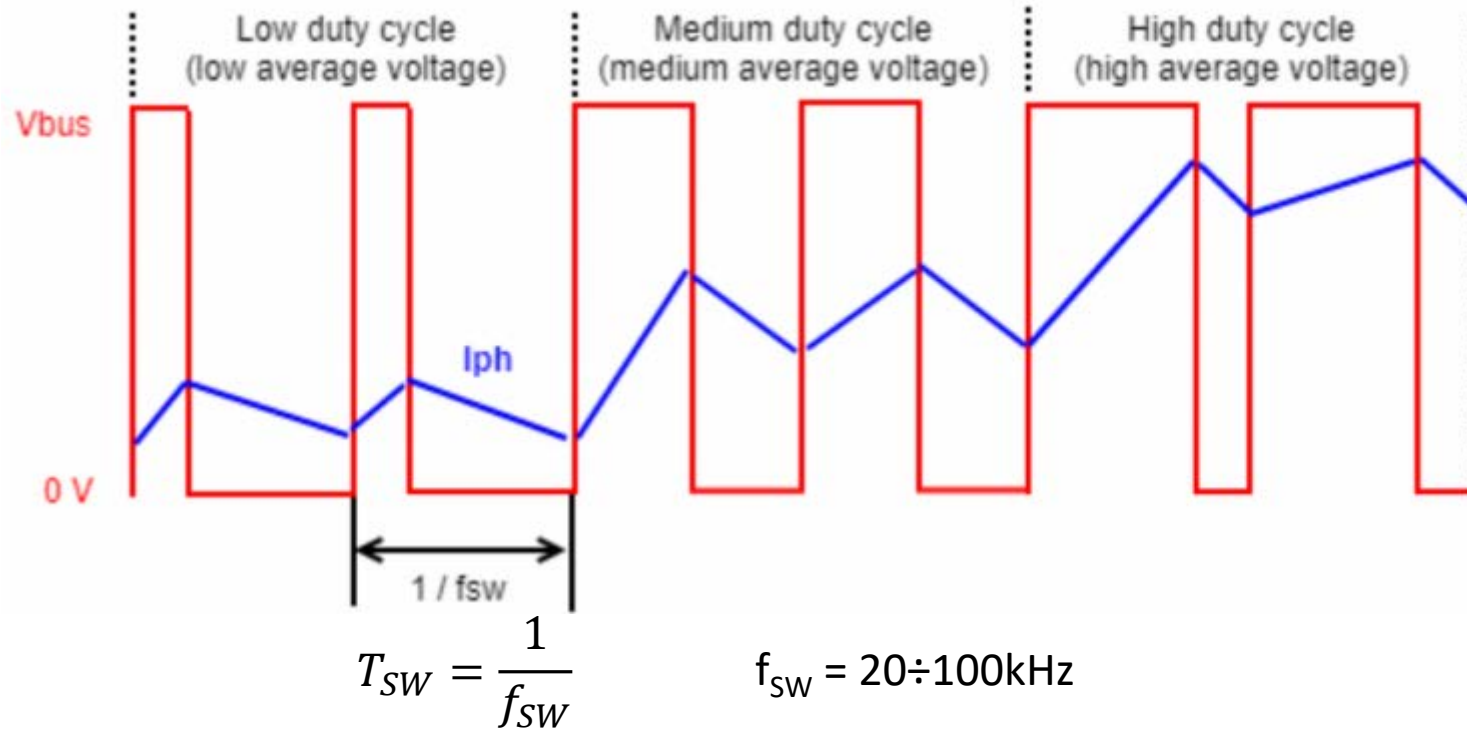
# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)



## Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)

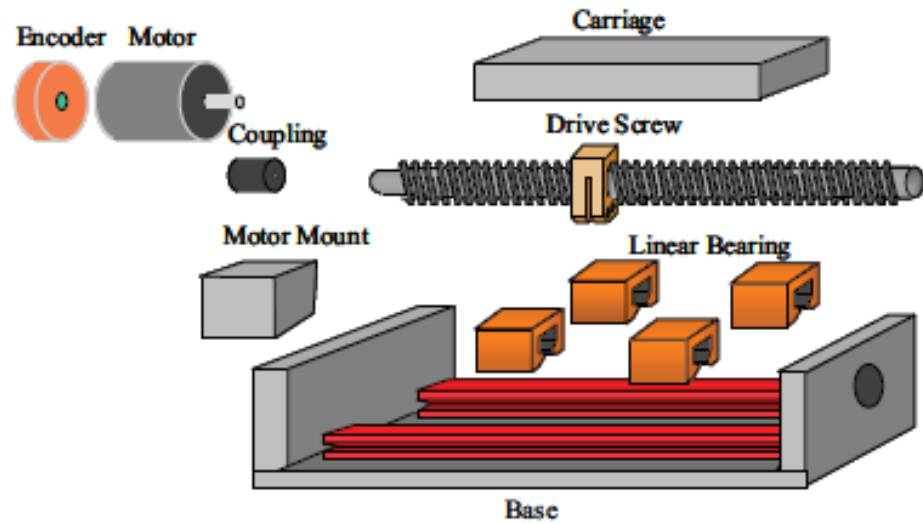


# Синхронни двигатели с безконтактна комутация (BLDC)

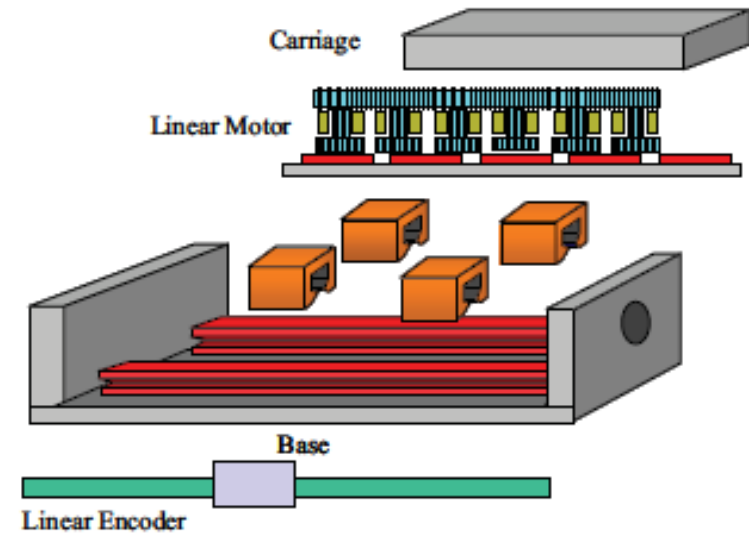


$$V_{bus} > V_{EMF\_Y} * \sqrt{3} * \sqrt{2} / D_{max}$$

# Линейни двигатели



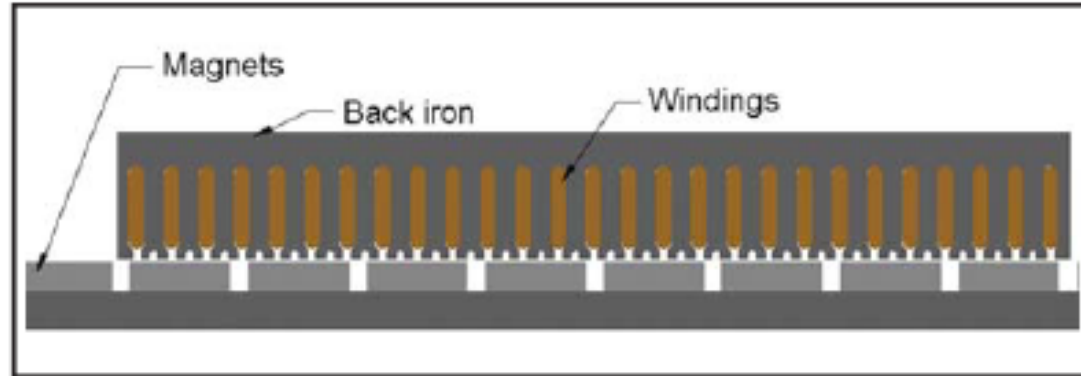
Задвижване с преобразуване на въртливо движение в линейно



Задвижване с линейен двигател

# Линейни двигатели

## Ironcore motors



### Предимства

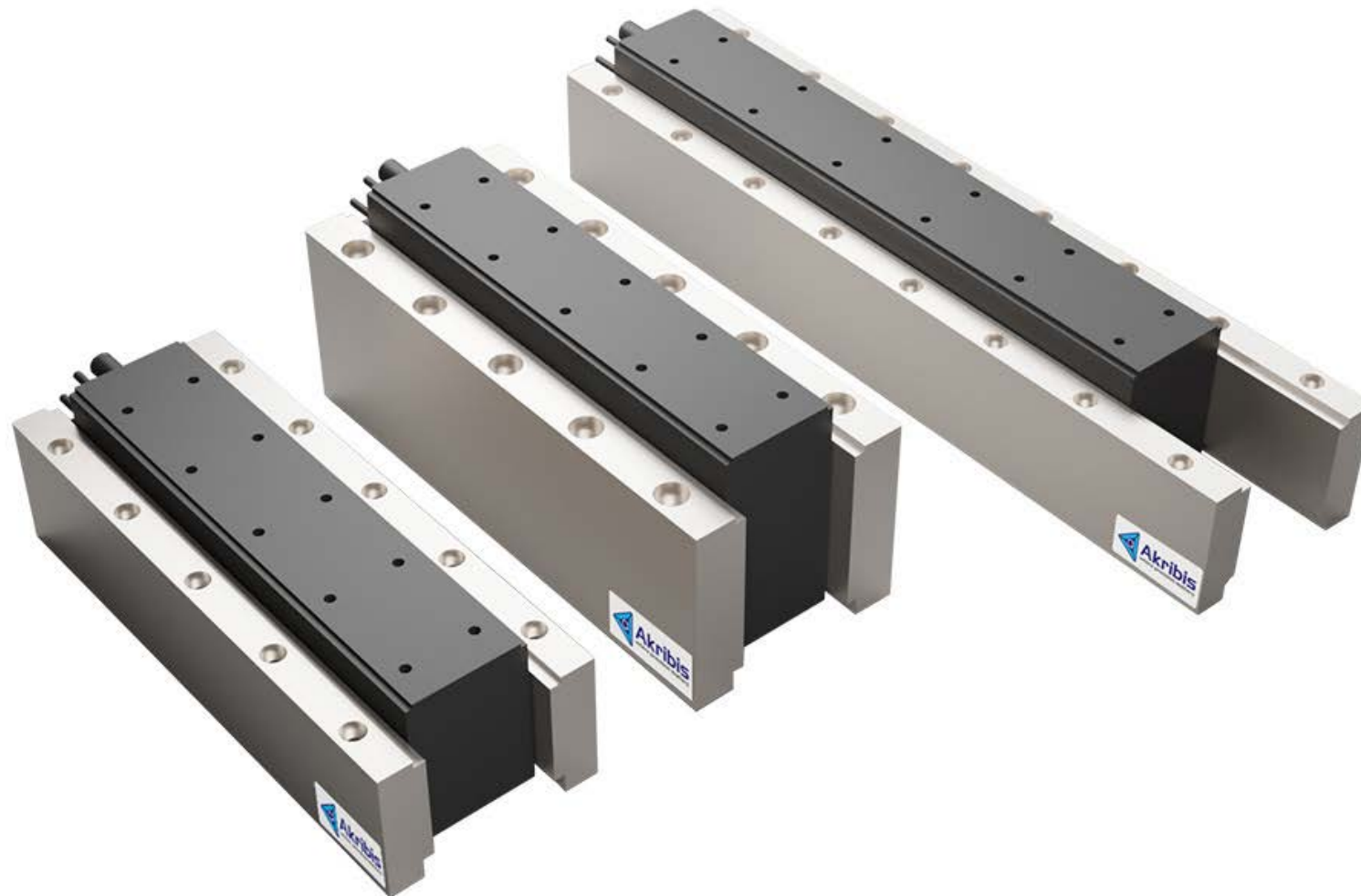
- Голяма мощност за единица размер
- По-ниска цена - използва се само един ред магнити
- Добро отвеждане на топлината

### Недостатъци

- Нормална сила на привличане - 5 до 13 пъти по-голяма от генерираната
- Ограничена плавност на движението и пулсация на скоростта

# Линейни двигатели

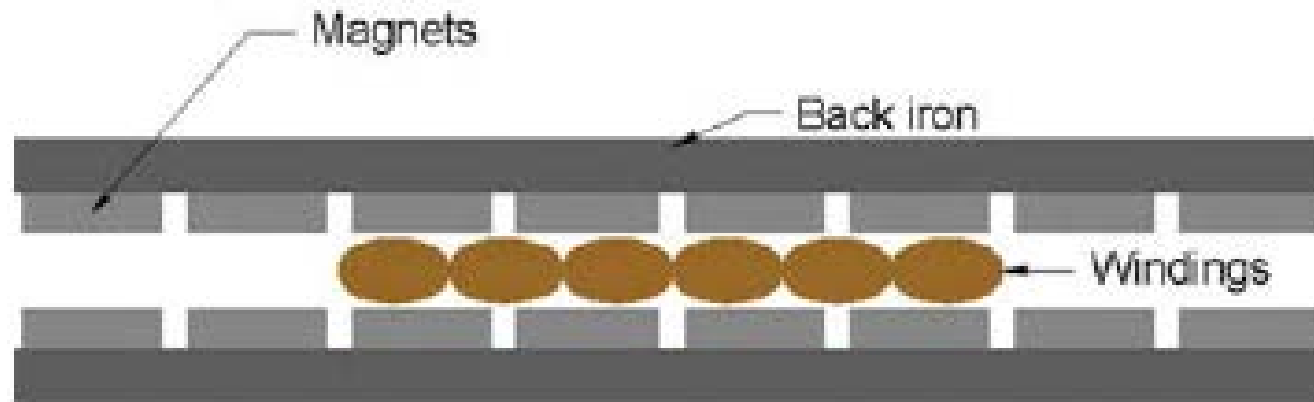
## Ironcore motors





# Линейни двигатели

## Ironless motors



### Предимства

- Няма сила на привличане
- Без метална сърцевина – голяма плавност на движението
- Ниско тегло – бързо ускорение
- Въздушната междина позволява лесно инсталиране

### Недостатъци

- Голямо топлинно съпротивление – затруднено охлаждане
- По-ниска изходна мощност за единица размер
- По-висока цена – използват се два пъти повече магнити

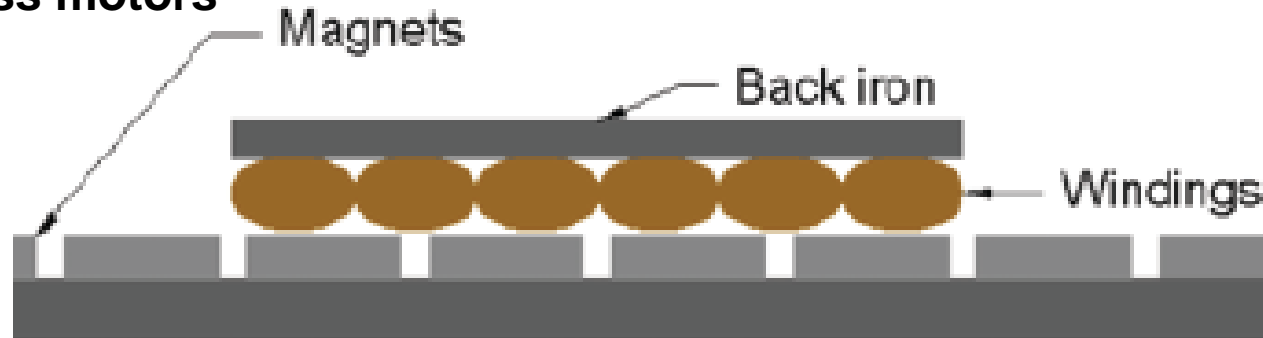
# Линейни двигатели

## Ironless motors



## Линейни двигатели

### Slotless motors



### Предимства

- Един ред с магнити
- По ниска цена в сравнение с ironless design
- По-добро охлаждане в сравнение с ironless design
- По-голяма мощност за единица размер в сравнение с ironless design
- По-малко тегло и инертност в сравнение с ironcore design
- По-малка сила на привличане в сравнение с ironcore designs – по-дълъг живот и по-малки размери на лагерите

### Недостатъци

- Съществува сила на привличане
- Въздушната междина е критична
- По-неефективни в сравнение с ironcore и ironless – повече отделена топлина за една и съща работа

# Стъпкови двигатели

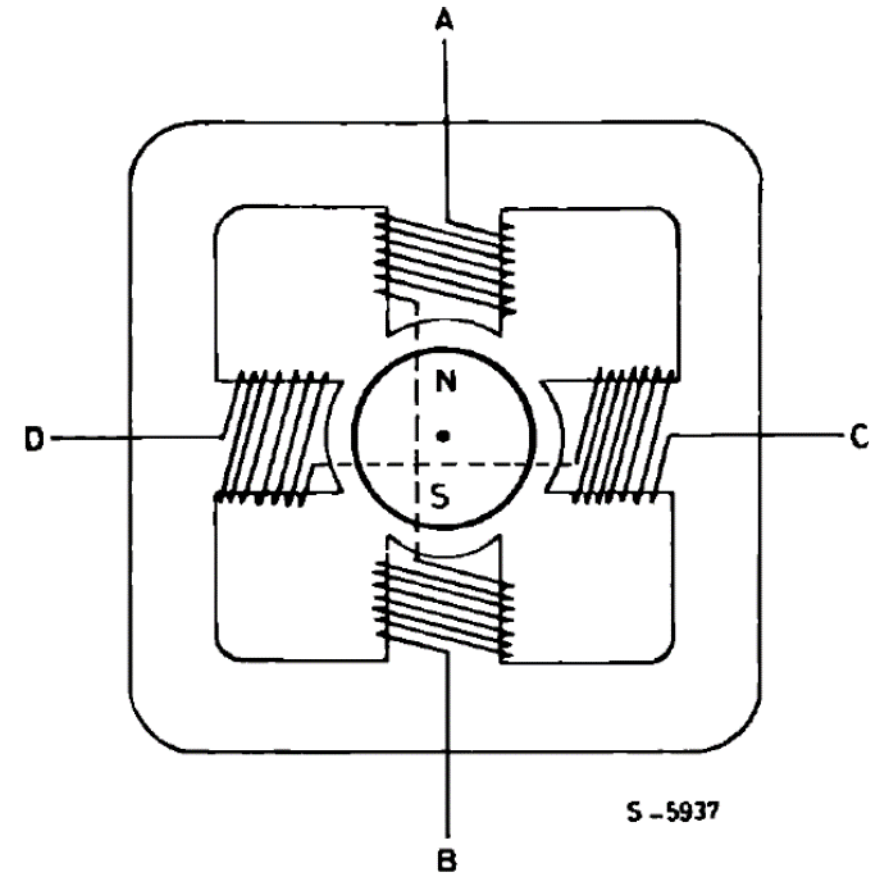
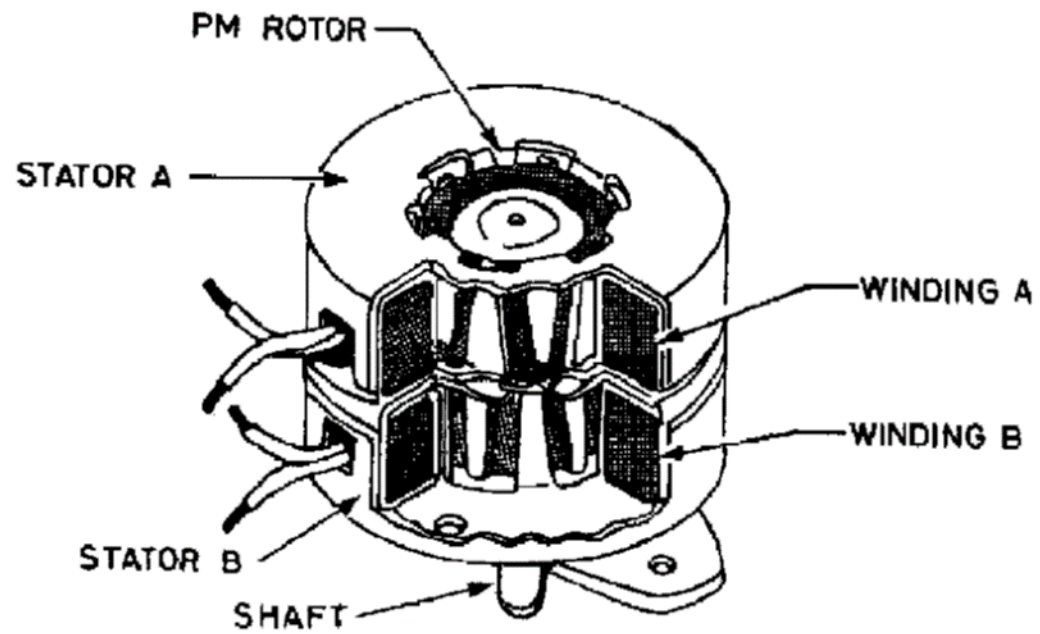
## Предимства

- Директна зависимост на ъгъла на завъртане от броя на подадените импулси
- Лесно управление на скоростта чрез честотата на подадените импулси
- Управлението не изисква обратни преобразуватели на скорост и преместване
- Сравнително ниска цена на управлението

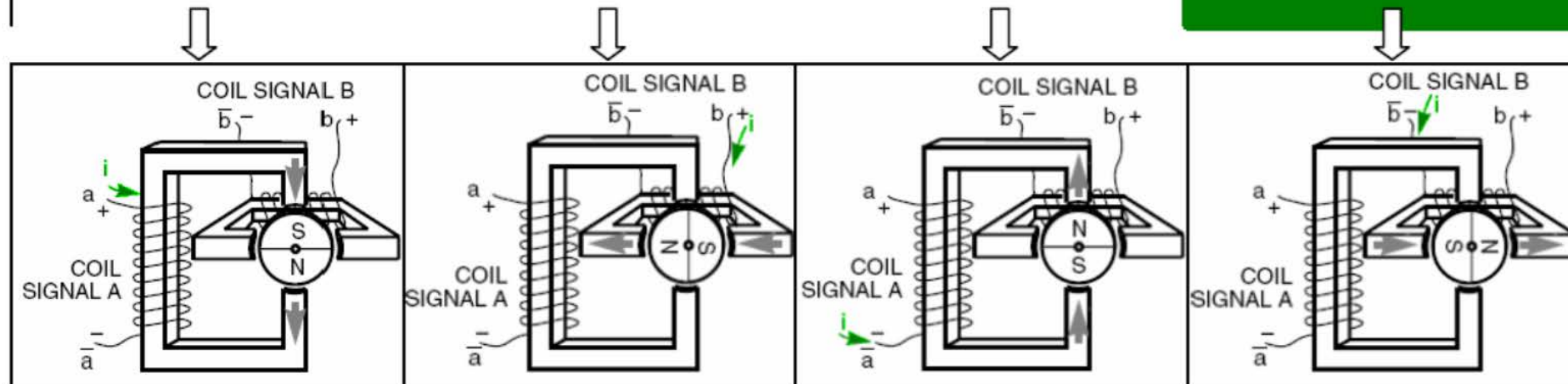
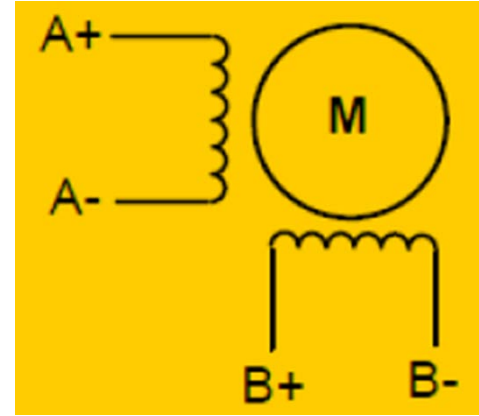
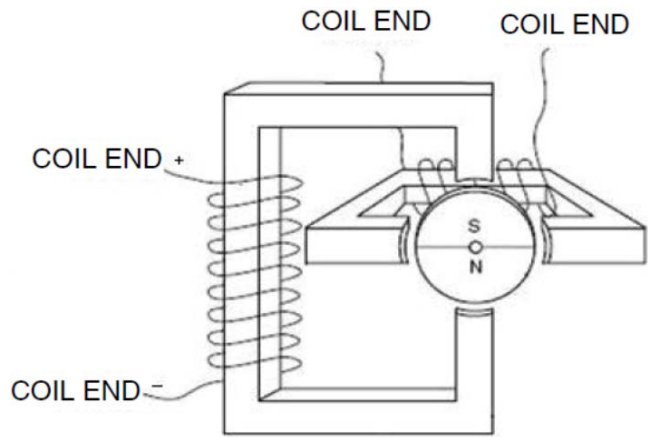
## Недостатъци

- Съществени ограничения на скоростта
- Необходимо е плавно увеличаване и намаляване на скоростта
- Загуба на информация при пропускане на импулс

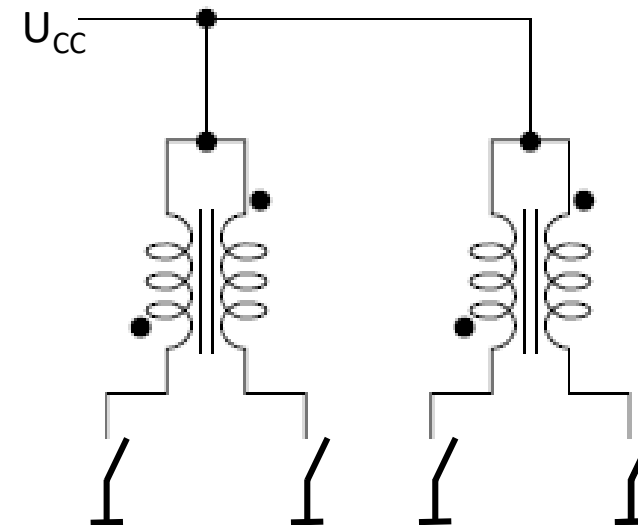
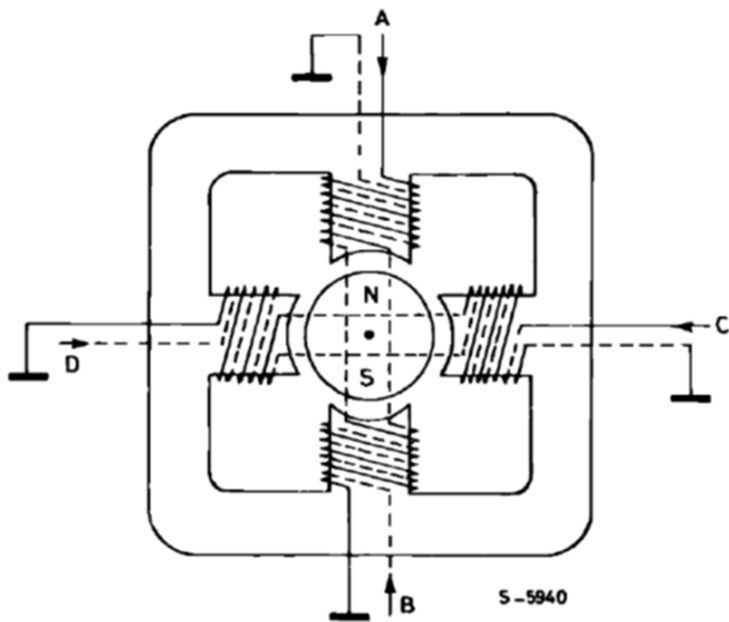
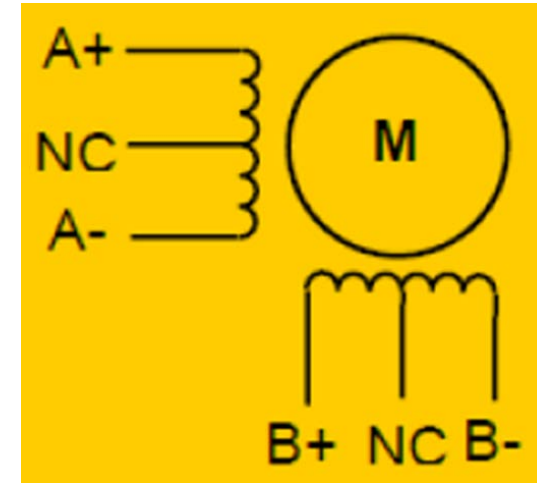
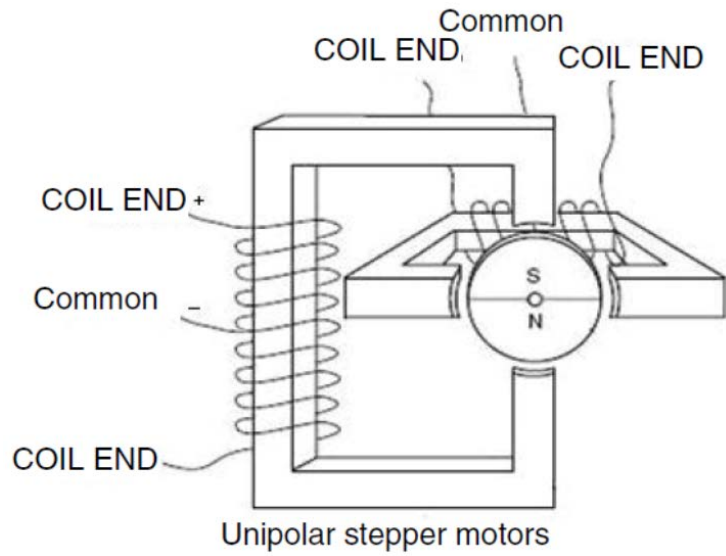
# Стъпкови двигатели



# Стъпкови двигатели



# Стъпкови двигатели



## Стъпкови двигатели





# Стъпкови двигатели

## Параметри на стъпковия двигател

**Основна съпка** –  $S_0[^\circ]=360/N_0$

$N_0=Z.P$ ;

$Z$  – брой на зъбите на ротора;

$P$  – брой на фазите;

**Синхронизиращ момент** – функцията му е симетрична спрямо устойчивото състояние с период  $Z_0[^\circ]=S_0.P=(360/N_0).P=(360/Z.P).P=360/Z$ .

Синхронизиращият момент се стреми да върне ротора на стъпковия двигател в устойчиво състояние когато се е изместил вследствие на натоварването.

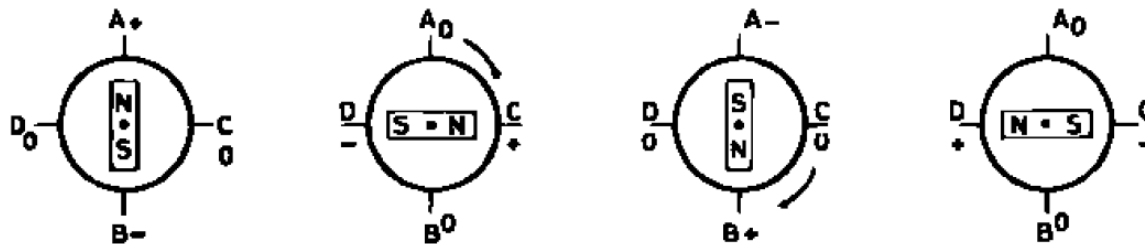
Максималният синхронизиращ момент трябва да бъде по-голям от съпротивителния.

**Изходен (двигателен момент) и максимална честота** – честотата, при която изходният момент за различните типове двигатели намалява до стойност  $0,3\div 0,8$  от максималния.

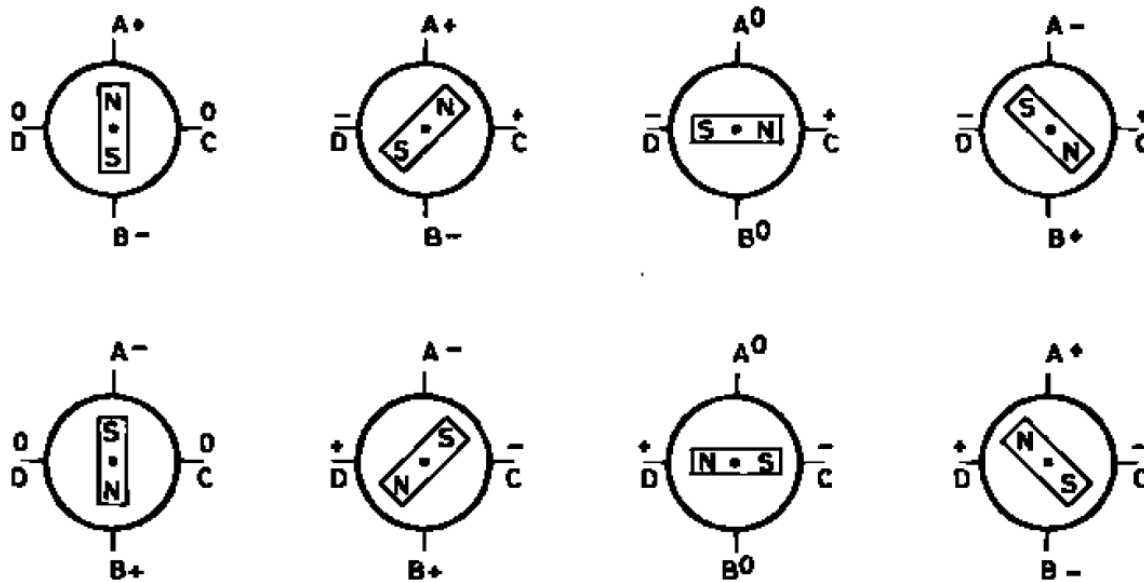
**Изходна мощност ( $P_0$ )** – според този параметър стъпковите двигатели се класифицират на:

- маломощни –  $P_0 < 100\text{W}$ ;
- средномощни –  $100\text{W} < P_0 < 1\text{kW}$ ;
- мощни –  $P_0 > 1\text{kW}$ .

# Стъпкови двигатели

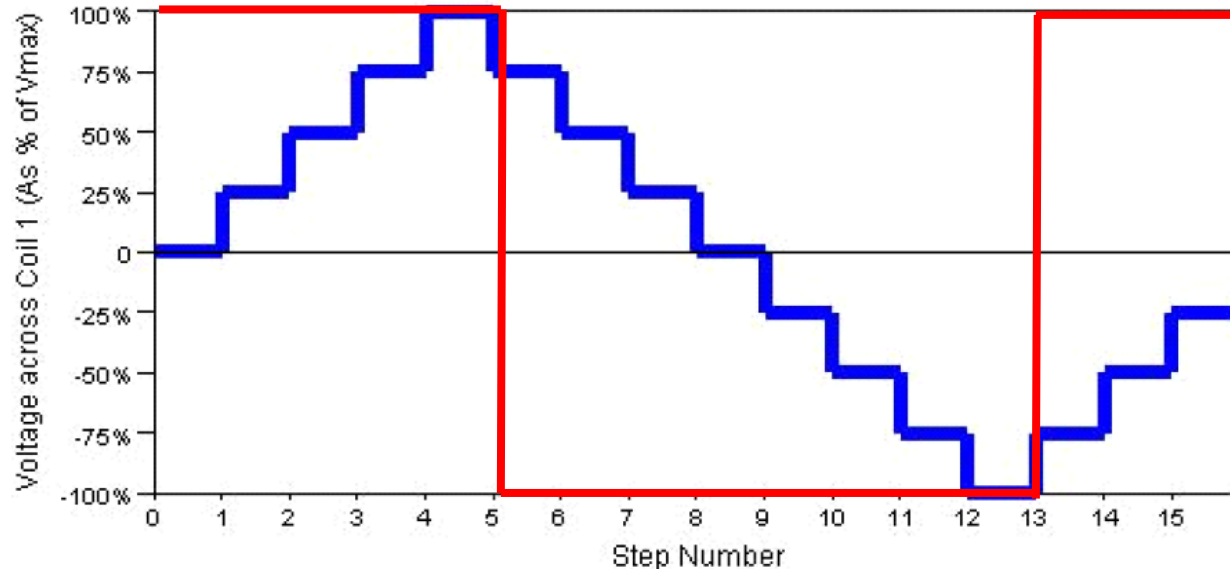
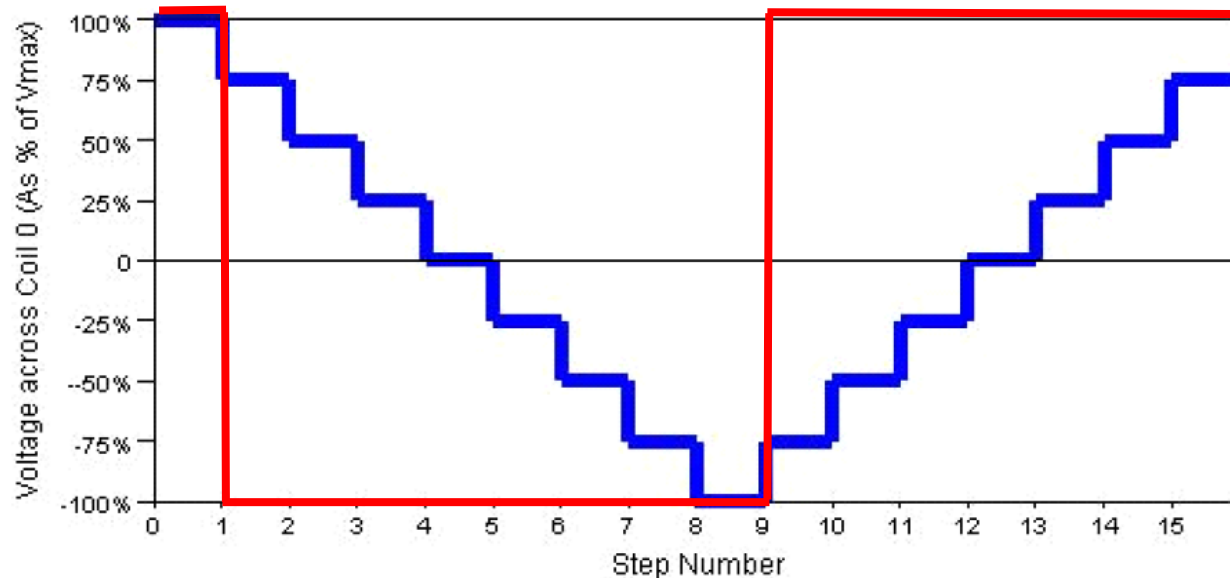


Движение с цяла стъпка



Движение с полустъпка

## Стъпкови двигатели



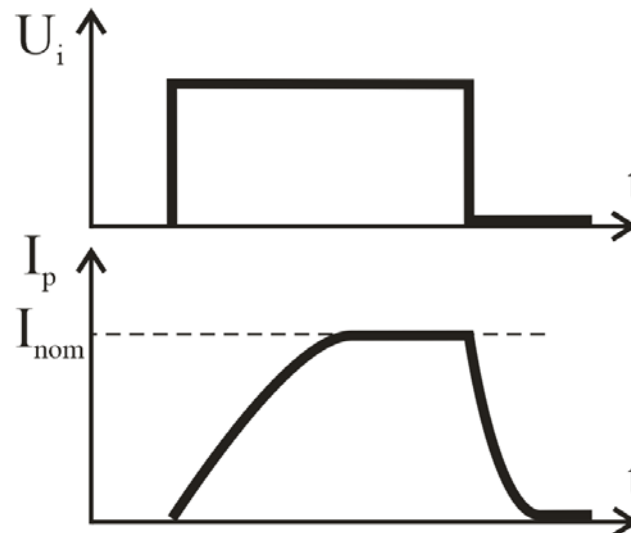
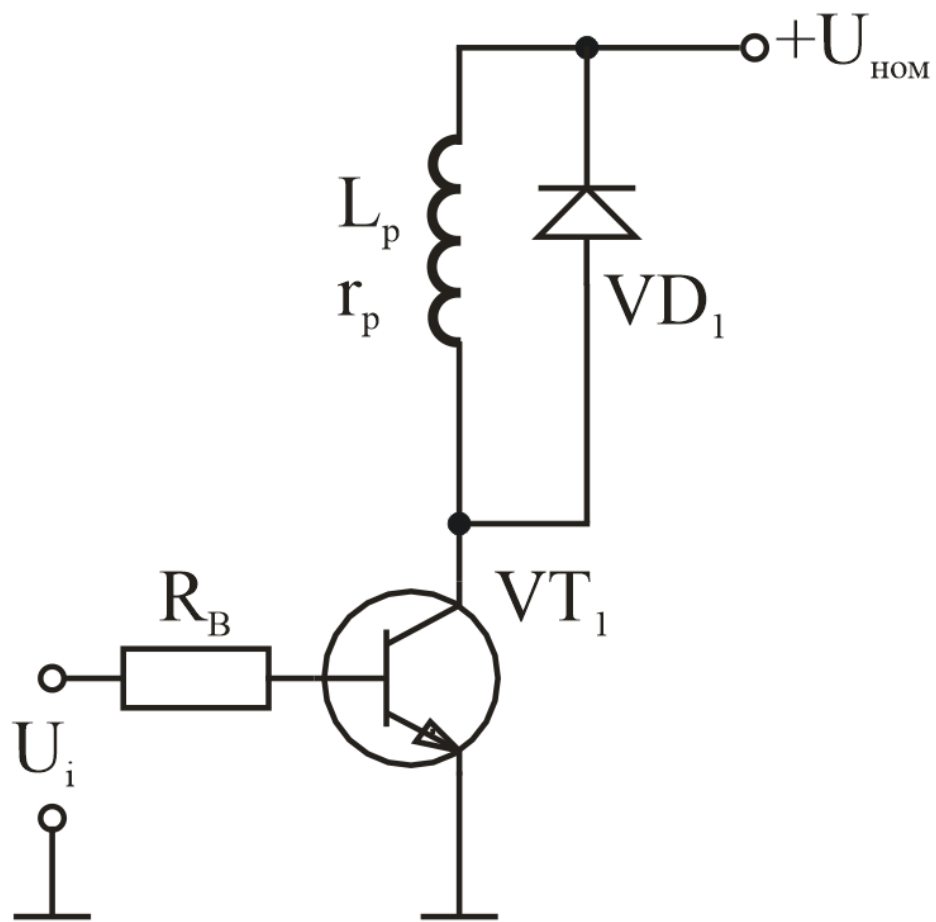
За управление на движението с части от основната стъпка на фазните намотки се подават различни стойности на напрежението, които са части от номиналната стойност.

При използване на 4 нива, големината на стъпката се разделя на 8.

Движение с части от основната стъпка

# Стъпкови двигатели

## Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател

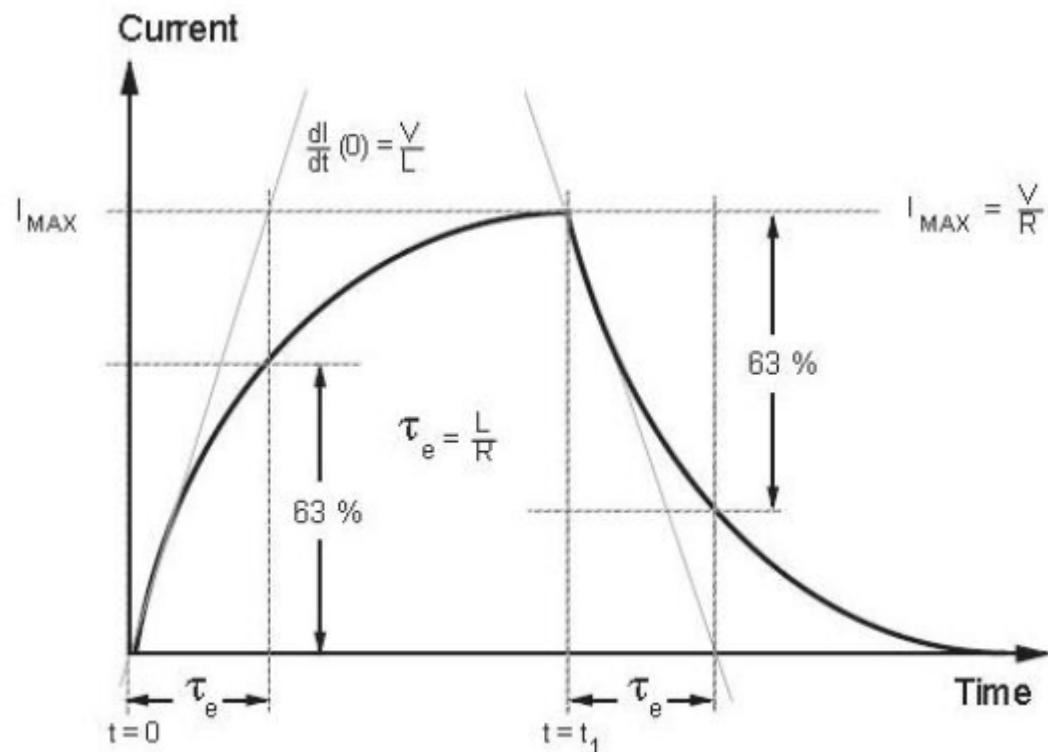


$$\tau = \frac{L_p}{r_p}$$

L<sub>p</sub> – индуктивност на фазната намотка  
r<sub>p</sub> – паразитно съпротивление

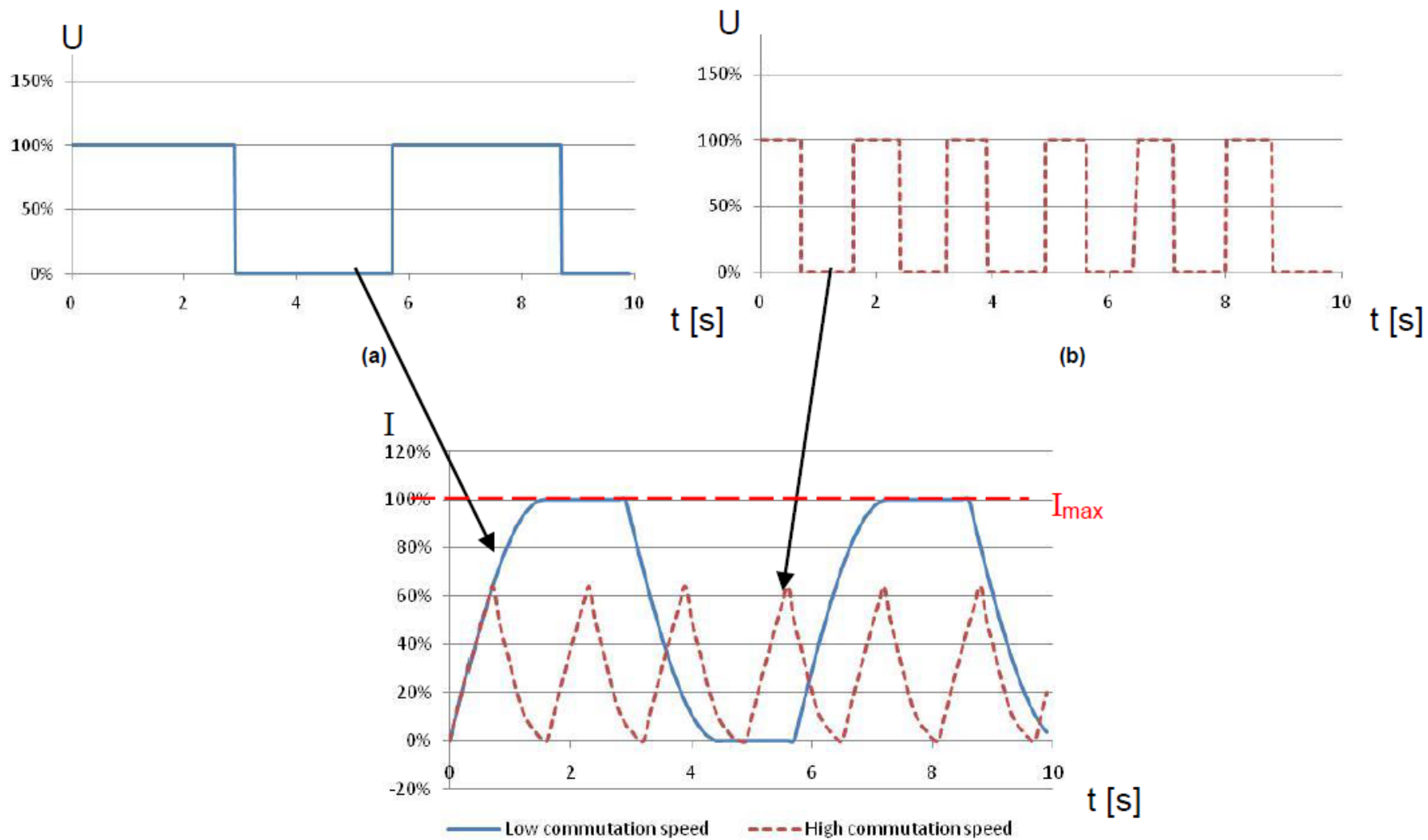
# Стъпкови двигатели

Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател



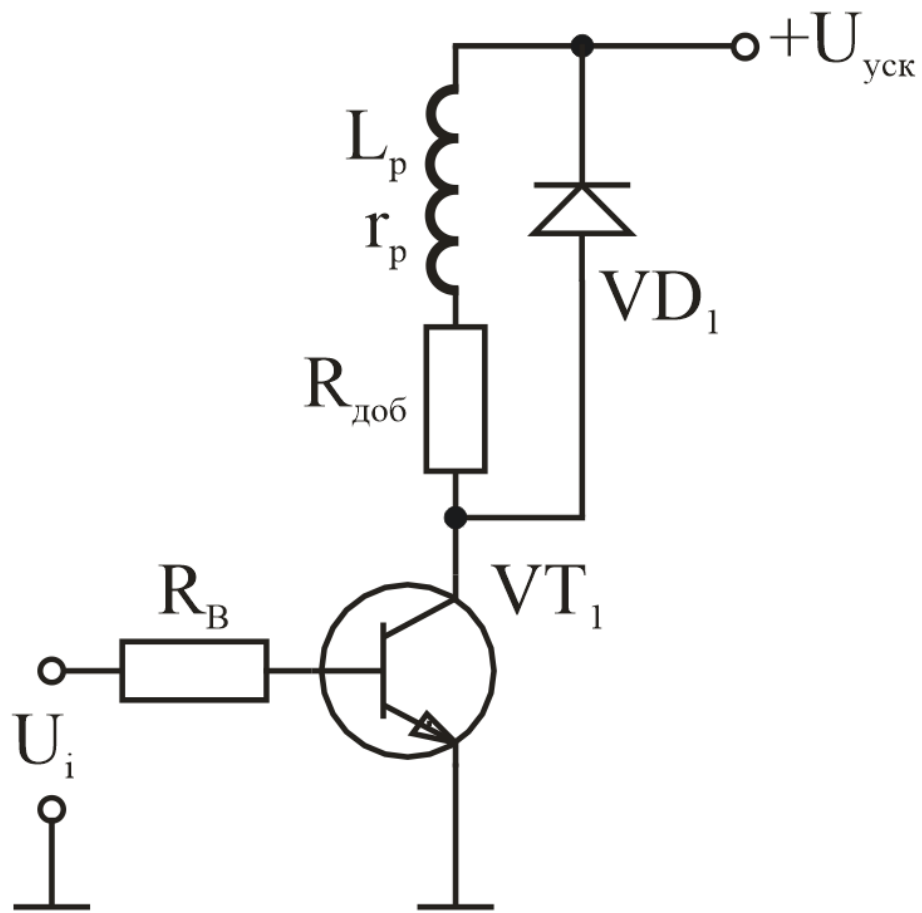
# Стъпкови двигатели

## Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател



# Стъпкови двигатели

Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател



$$R_{доб} = 2r_p$$

$$U_{уск} = 3U_{ном}$$

Схема с добавъчно съпротивление

# Стъпкови двигатели

## Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател

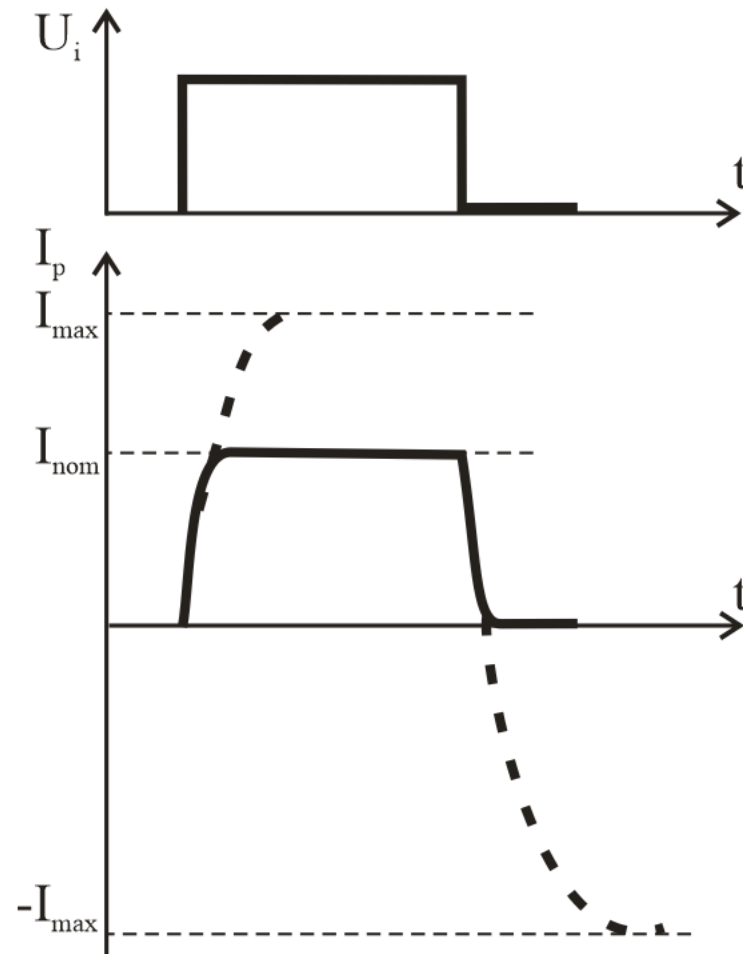
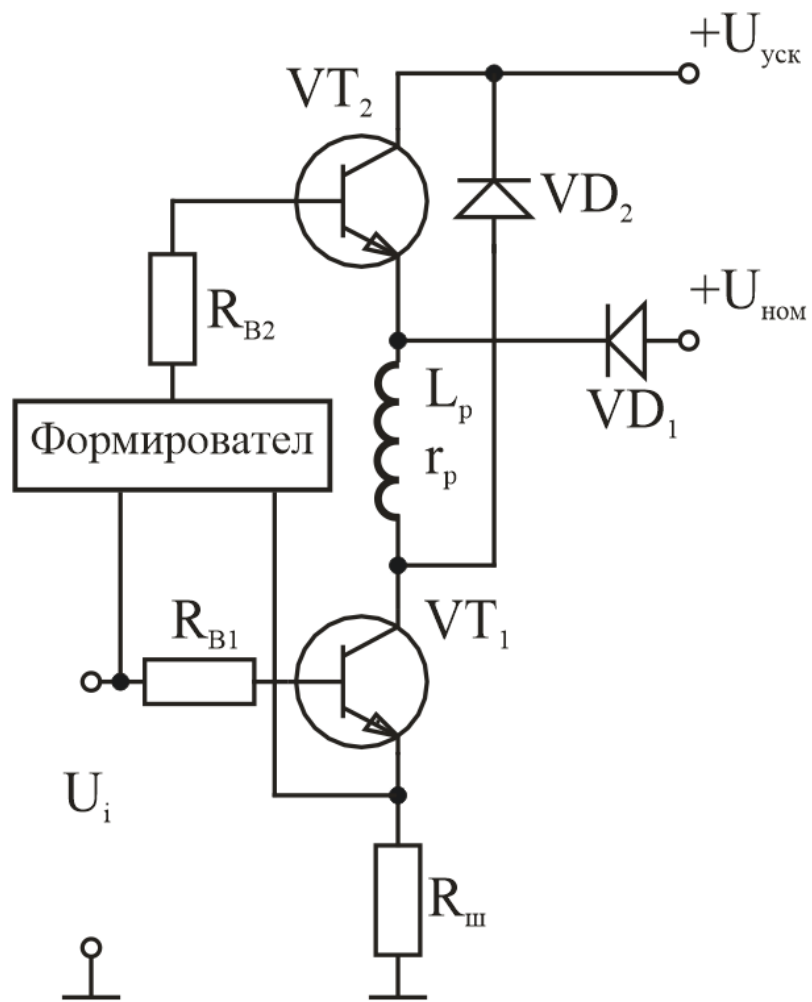


Схема с две захранващи напрежения



# Стъпкови двигатели

## Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател

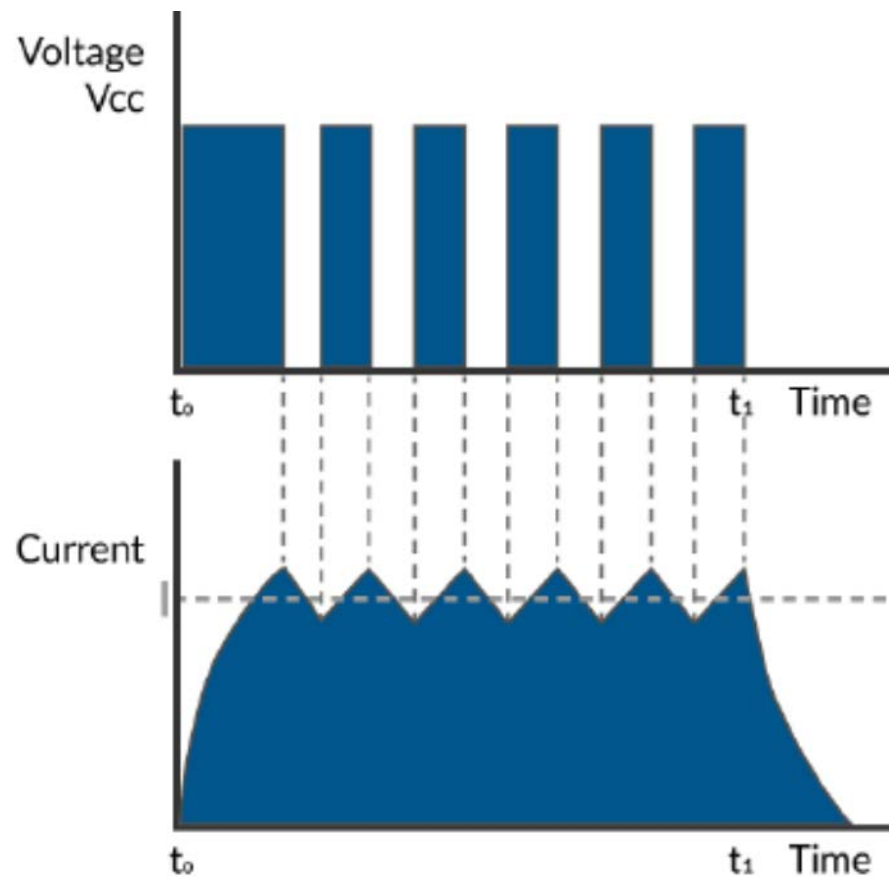
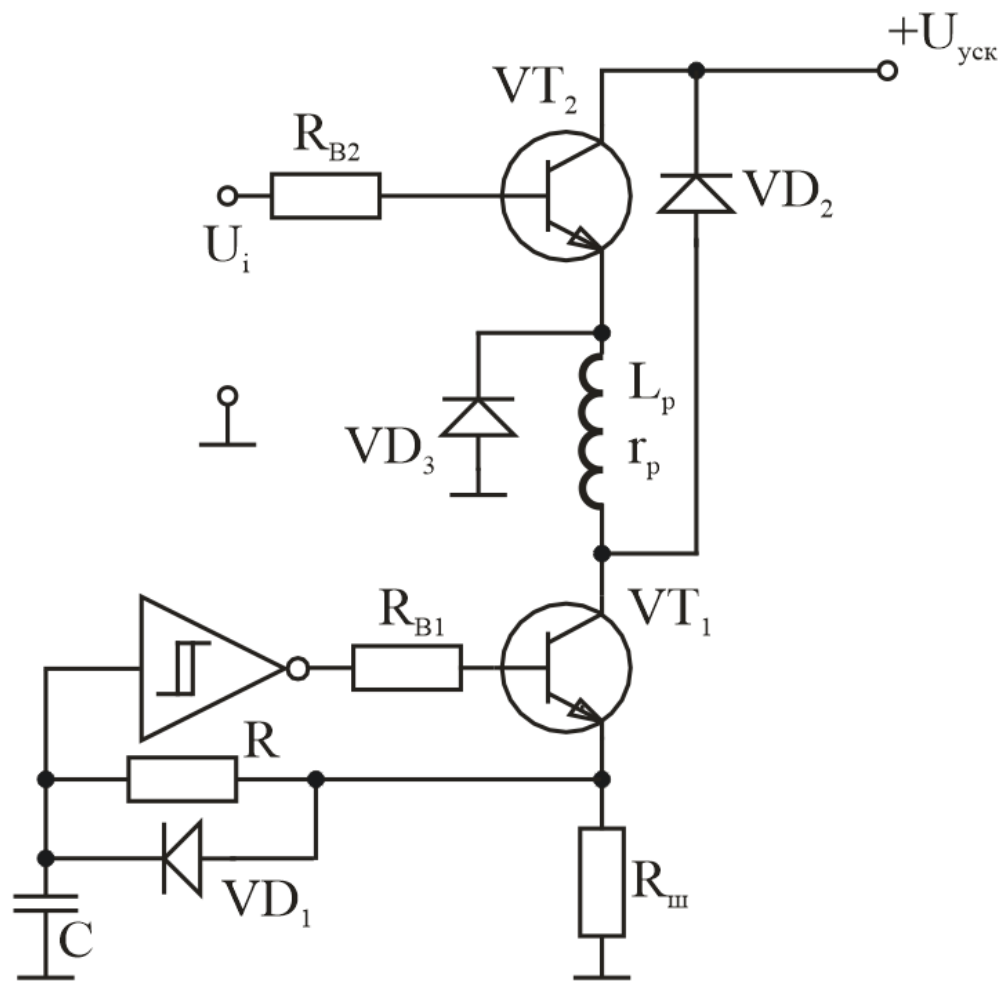


Схема с едно захранващо напрежение

# Стъпкови двигатели

## Схемотехника на крайните стъпала за управление на стъпковия двигател

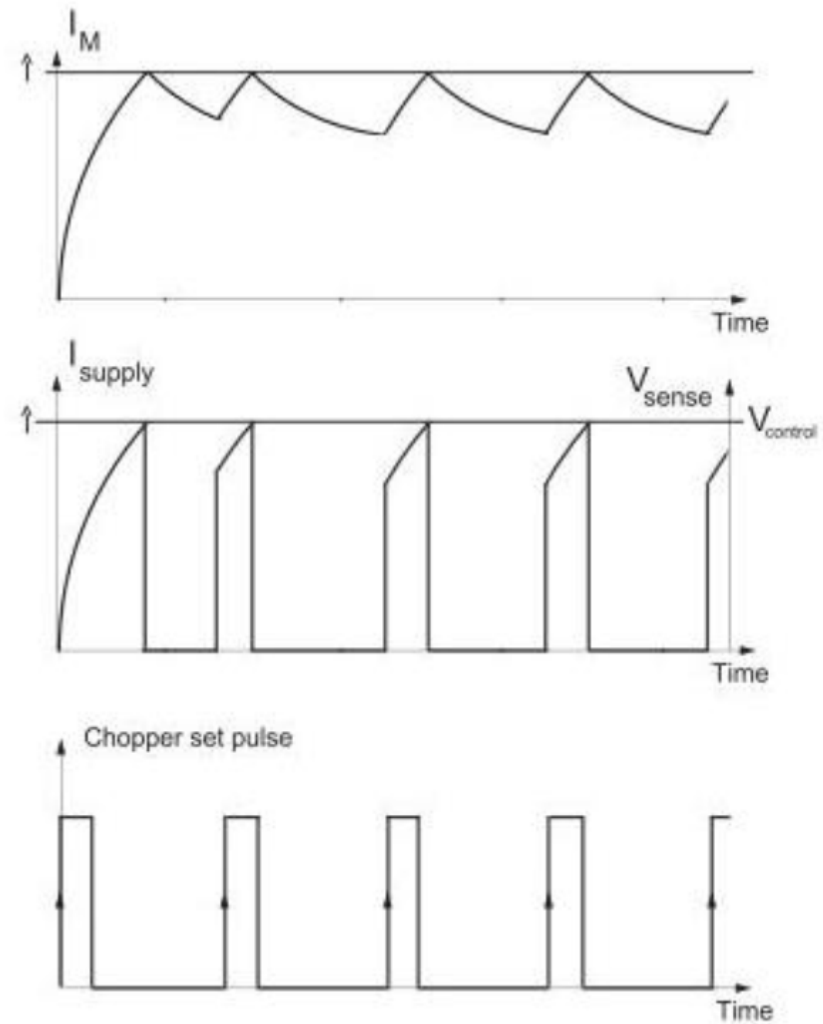
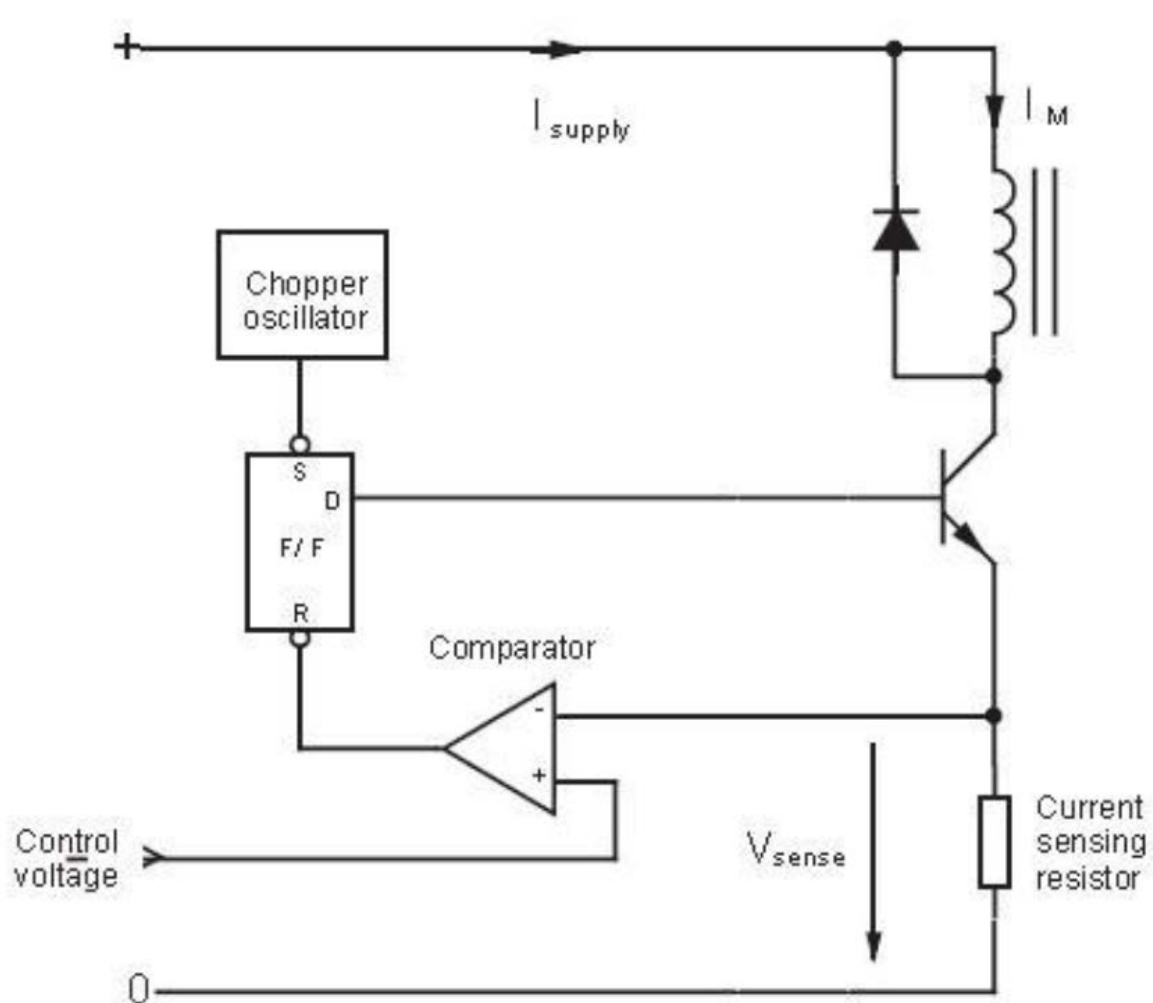
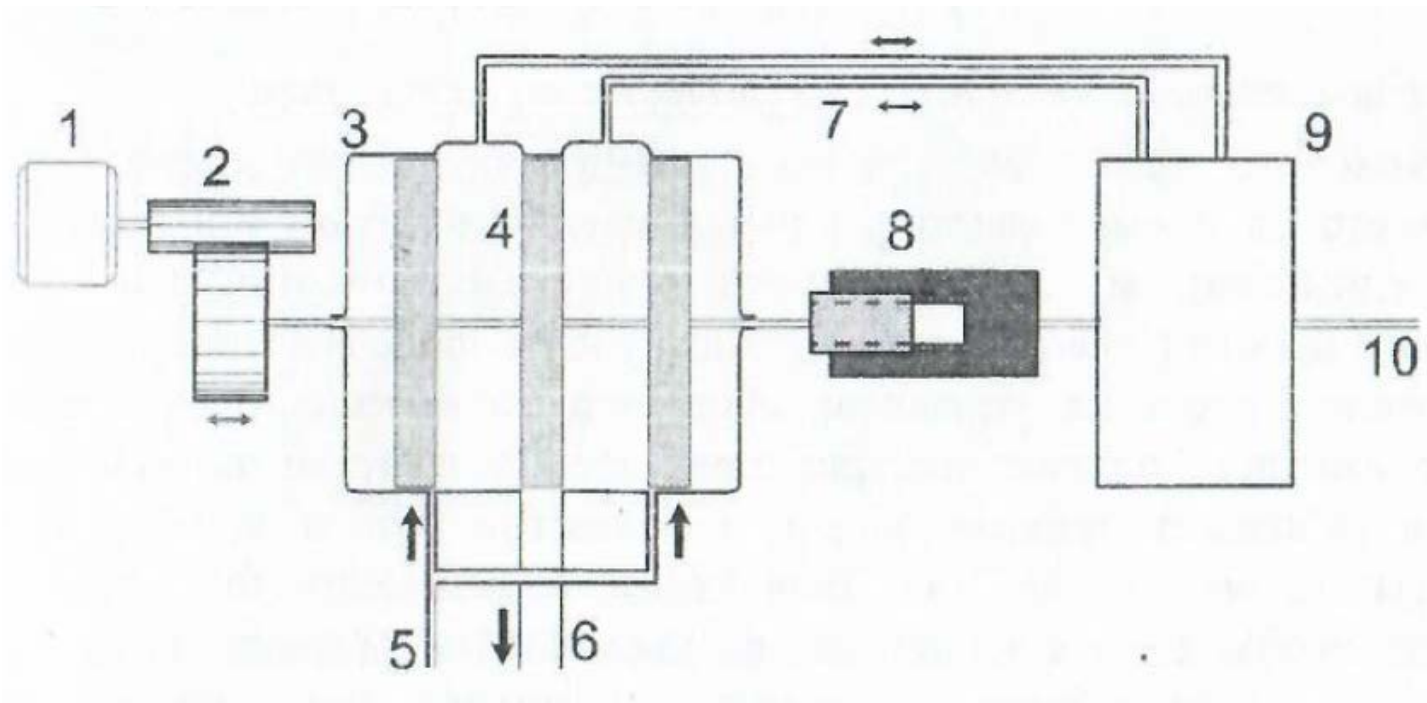


Схема с едно захранващо напрежение

## Стъпкови двигатели



### Конструкция на хидроусилвателя

1 – стъпков двигател; 2 – зъбна предавка; 3 – хидравличен разпределител;  
4 – клапани на разпределителя; 5 – входящи тръбопроводи; 6 – изходящи  
тръбопроводи; 7 – тръбопроводи към хидродвигател; 8 – механизъм винт-гайка;  
9 – хидродвигател; 10 – изходен вал на хидродвигателя.