

## Расчет циклограммы движения привода и тормозного резистора

Электромеханизм DA14.525576.001

Проект id4633

Автор : Тихонов Е.Н.

### Привод NGV

#### Исходные данные:

$M_n := 21$	Nm	Номинальный момент двигателя
$n := 2500$	об/мин	Номинальная скорость двигателя (из pdf)
$W_n := n \cdot \frac{\pi}{30} = 261.799$	rad/sek	Номинальная скорость двигателя (из n)
$F_{шт\text{ок}} := 30000$	N	усилие на штоке (из ТЗ)
$\eta_{gear1} := 0.6$		прямой КПД РВП электромеханизма
$\eta_{gear2} := 0.38$		обратное КПД РВП электромеханизма
$\eta_{двиг} := 0.88$		обратное КПД электродвигателя
$K_{рвп} := 2.5$	$\frac{мм}{об}$	коэфф передачи РВП, мм/об (из КД на РВП ЭМП)
$t_{раз\_тор} := 0.5$	Сек	Время разгона и торможения
$W_{макс} := 27.2 \cdot 60 \cdot \frac{\pi}{30} = 170.903$	$\frac{рад}{с}$	Максимальная скорость перемещения
$K_{t\_mot} := 2.2 \cdot \frac{Нм}{А}$		Постоянная момента двигателя
$R_{phase} := \frac{0.88}{2} = 0.44$	Ом	Сопротивление фазы мотора

Приведенные моменты инерции к валу двигателя

$J_{рвп} := 0.007335$	$кг \cdot м^2$	момент инерции РВП (от Анспука, <b>уточненный</b> )
$J_{двиг} := 0.0$	$кг \cdot м^2$	момент инерции двигателя (из PDF на мотор, <b>не учитываю, т.к. он включен в <math>J_{рвп}</math></b> )
$J_{сумм} := J_{рвп} + J_{двиг} = 7.335 \times 10^{-3}$	$кг \cdot м^2$	суммарный момент инерции на валу

Момент инерции нагрузки неизвестен. Принимаем его равным нулю

$J_{нагр} := 0$

$U_{ас} := 440$	В	макс. переменное напряжение питания БУП (rms) (из ТЗ)
$U_{dc} := U_{ас} \cdot \sqrt{2} = 622.254$		выпрямленное напряжение в ЗПТ

Выбираем ограничение по максимальному напряжению в ЗПТ. Самое слабое место - конденсаторы. Их номинал и будет являться ограничением.

$U := 800$	В	максимально допустимое напряжение ЗПТ
------------	---	---------------------------------------

$T_{\text{move}} := 3.0$	с	Время перекладки на рабочий ход (из ТЗ)
$S_{\text{rab}} := 170$	mm	Рабочий ход (из ТЗ)
$C_{\text{зпт}} := 1800 \cdot 10^{-6} \cdot 1.1$	F	Емкость звена пост. тока + 10% (из pdf)

## РАСЧЕТЫ

### 1. Расчет циклограмм

Здесь мы определяем время разгона и торможения в различных режимах

#### 1.1 Генераторный режим (работа по нагрузке, т.е. нагрузка работает на нас, вытягивая или вдавливая шток)

##### 1.1.1 Разгон

$$M_{\text{стат1}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad N_m \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

2й закон Ньютона:  $M - M_c = J \, dw/dt$

$$\varepsilon_1 := \frac{|M_n + M_{\text{стат1}}|}{J_{\text{сумм}}} = 3.481 \times 10^3 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное угловое ускорение разгона привода}$$

$$a_1 := \varepsilon_1 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 1.384 \times 10^3 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение разгона штока}$$

$$t_1 := \frac{W_n}{\varepsilon_1} = 0.075 \quad \text{с} \quad \text{минимально возможное время разгона}$$

##### **От Бормотова**

$$\varepsilon_1 := \frac{M_n + M_{\text{стат1}}}{J_{\text{сумм}}} = 3.481 \times 10^3 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное угловое ускорение разгона привода}$$

$$a_1 := \varepsilon_1 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 1.384 \times 10^3 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение разгона штока}$$

$$t_1 := \frac{W_n}{\varepsilon_1} = 0.075 \quad \text{с} \quad \text{минимально возможное время разгона}$$

##### 1.1.2 Торможение

$$M_{\text{стат2}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.538 \quad N_{\text{м}} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$\varepsilon_2 := \frac{|M_{\text{п}} - M_{\text{стат2}}|}{J_{\text{сумм}}} = 2.244 \times 10^3 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{макс. угловое ускорение замедления}$$

$$a_2 := \varepsilon_2 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 892.101 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение замедления штока}$$

$$t_2 := \frac{W_{\text{п}}}{\varepsilon_2} = 0.117 \quad \text{с} \quad \text{минимально возможное время торможения}$$

### От Бормотова

$$M_{\text{стат2}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad N_{\text{м}} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$\varepsilon_2 := \frac{-2M_{\text{п}} - M_{\text{стат2}}}{J_{\text{сумм}}} = -6.344 \times 10^3 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{макс. угловое ускорение замедления}$$

$$a_2 := \varepsilon_2 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = -2.522 \times 10^3 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение замедления штока}$$

$$t_2 := \frac{W_{\text{п}}}{\varepsilon_2} = -0.041 \quad \text{с} \quad \text{минимально возможное время торможения}$$

## 1.2 Двигательный режим (работа на нагрузку, не проведял Бормотов)

### 1.2.1 Разгон

$$M_{\text{стат3}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{gear1}}} = 19.904 \quad N_{\text{м}} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$\varepsilon_3 := \frac{|M_{\text{п}} - M_{\text{стат3}}|}{J_{\text{сумм}}} = 149.358 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное угловое ускорение разгона}$$

$$a_3 := \varepsilon_3 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 59.37 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение разгона штока}$$

$$t_3 := \frac{W_{\text{п}}}{\varepsilon_3} = 1.753 \quad \text{с} \quad \text{минимально возможное время разгона}$$

### 1.2.2 Торможение

$$M_{\text{стат4}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{gear1}}} = 19.904 \quad N_m \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$\epsilon_4 := \frac{|M_n + M_{\text{стат4}}|}{J_{\text{сумм}}} = 5.577 \times 10^3 \quad \frac{\text{рад}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное угловое ускорение замедления}$$

$$a_4 := \epsilon_4 \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 2.217 \times 10^3 \quad \frac{\text{мм}}{\text{сек} \cdot \text{сек}} \quad \text{максимальное линейное ускорение разгона штока}$$

$$t_4 := \frac{W_n}{\epsilon_4} = 0.047 \quad s \quad \text{минимально возможное время торможения}$$

## 2. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРНОГО РЕЖИМА

**2.1 Оптимизация ускорения разгона и номинальной скорости под условия заказчика. Ускорение замедления не меняем для возможности быстро остановиться в случае аварийной ситуации. Добиваемся запаса по времени перекладки в 20% (2,8 сек)**

$$\epsilon_{11\_опт} := 54.4 \quad \text{об / сек}^2 \quad \text{Выбираем оптимальное ускорение в пределах допустимых}$$

$$\epsilon_{22\_опт} := 54.4 \quad \text{об / сек}^2$$

$$\epsilon_{1\_опт} := \epsilon_{11\_опт} \cdot 6.283 = 341.795 \quad \text{рад / сек}^2$$

$$\epsilon_{2\_опт} := \epsilon_{22\_опт} \cdot 6.283 = 341.795 \quad \text{рад / сек}^2$$

$$a_{1\_опт} := \epsilon_{1\_опт} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 135.864 \quad \text{мм / сек}^2$$

$$a_{2\_опт} := \epsilon_{2\_опт} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 0.159 = 135.864 \quad \text{мм / сек}^2$$

Подбираем скорость равномерного движения в генераторном режиме

$$n_{\text{gen\_опт}} := 1632 \quad \text{ВВОДИ СЮДА} \quad \text{об/мин} \quad \text{подобранная угловая скорость штока ЭМП}$$

$$W_{\text{gen\_опт}} := n_{\text{gen\_опт}} \cdot \frac{\pi}{30} = 170.903 \quad \text{рад/сек} \quad \text{подобранная угловая скорость штока ЭМП}$$

$$WW_{\text{dvig\_опт}} := \frac{W_{\text{gen\_опт}}}{6.283} = 27.201 \quad \text{об/сек}$$

$$v_{\text{gen\_опт}} := \frac{n_{\text{gen\_опт}} \cdot K_{\text{рвп}}}{60} = 68 \quad \text{мм/с} \quad \text{подобранная линейная скорость штока ЭМП}$$

Вычисляем новое время разгона

$$t_{1\_опт} := \frac{W_{\text{gen\_опт}}}{\epsilon_{1\_опт}} = 0.5 \quad c \quad \text{новое время разгона до } v_{\text{gen\_опт}}$$

Вычисляем новое время торможения

$$t2\_опт := \frac{W\_ген\_опт}{\epsilon 2\_опт} = 0.5 \quad \text{с} \quad \text{новое время торможения с } v\_ген\_опт \text{ до } 0$$

Вычисляем пройденные пути

$$S\_разг\_опт\_ген := \frac{a1\_опт \cdot t1\_опт^2}{2} = 16.984 \quad \text{мм} \quad \text{новый пройденный путь на участке разгона}$$

$$S\_торм\_опт\_ген := \frac{a2\_опт \cdot t2\_опт^2}{2} = 16.984 \quad \text{мм} \quad \text{новый пройденный путь на участке торможения}$$

$$S\_движ\_опт\_ген := S\_rab - (S\_разг\_опт\_ген + S\_торм\_опт\_ген) = 136.032 \quad \text{мм} \quad \begin{array}{l} \text{пройденный путь} \\ \text{на участке} \\ \text{равном. движения} \end{array}$$

Вычисляем новое время равномерного движения

$$t_{равн\_опт\_ген} := \frac{S\_движ\_опт\_ген}{v\_ген\_опт} = 2 \quad \text{с} \quad \begin{array}{l} \text{новое время равномерно движения} \\ \text{со скоростью } v\_ген\_опт \end{array}$$

Вычисляем новое время перекладки в генераторном режиме

$$T_{summ\_опт\_ген} := t1\_опт + t2\_опт + t_{равн\_опт\_ген} = 3.001 \quad \text{с} \quad \begin{array}{l} \text{НОВОЕ ВРЕМЯ ПЕРЕКЛАДКИ} \\ \text{со скоростью } v\_ген\_опт \end{array}$$

### 3. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

**3.1 Оптимизация ускорения разгона и номинальной скорости под условия заказчика. Ускорение замедления не меняем для возможности быстро остановиться в случае аварийной ситуации. Добиваемся запаса по времени перекладки в 20% (2,8 сек)**

$$\epsilon 33\_опт := 50 \quad \text{об / сек}^2 \quad \text{Выбираем оптимальное ускорение в пределах допустимых}$$

$$\epsilon 44\_опт := 50 \quad \text{об / сек}^2$$

$$\epsilon 3\_опт := \epsilon 33\_опт \cdot 6.283 = 314.15 \quad \text{рад / сек}^2$$

$$\epsilon 4\_опт := \epsilon 44\_опт \cdot 6.283 = 314.15 \quad \text{рад / сек}^2$$

$$a3\_опт := \epsilon 3\_опт \cdot K_{рвп} \cdot 0.159 = 124.875 \quad \text{мм / сек}^2$$

$$a4\_опт := \epsilon 4\_опт \cdot K_{рвп} \cdot 0.159 = 124.875 \quad \text{мм / сек}^2$$

Подбираем скорость равномерного движения

$$n\_dvig\_опт := 1350 \quad \text{ВВОДИ СЮДА} \quad \text{об/мин} \quad \text{подобранная угловая скорость штока ЭМП}$$

$$W_{\text{dvig\_опт}} := \frac{n_{\text{dvig\_опт}}}{9.55} = 141.361 \quad \text{рад/сек} \quad \text{подобранная угловая скорость штока ЭМП}$$

$$\text{WW}_{\text{dvig\_опт}} := \frac{W_{\text{dvig\_опт}}}{6.283} = 22.499 \quad \text{об/сек}$$

$$v_{\text{dvig\_опт}} := \frac{n_{\text{dvig\_опт}} \cdot K_{\text{рвп}}}{60} \quad \text{мм/с} \quad \text{подобранная линейная скорость штока ЭМП}$$

Вычисляем новое время разгона

$$t3_{\text{опт}} := \frac{W_{\text{dvig\_опт}}}{\epsilon3_{\text{опт}}} = 0.45 \quad \text{с} \quad \text{новое время разгона до } v_{\text{dvig\_опт}}$$

Вычисляем новое время торможения

$$t4_{\text{опт}} := \frac{W_{\text{dvig\_опт}}}{\epsilon4_{\text{опт}}} = 0.45 \quad \text{с} \quad \text{новое время торможения с } v_{\text{dvig\_опт}} \text{ до } 0$$

Вычисляем пройденные пути

$$S_{\text{разг\_опт\_dvig}} := \frac{a3_{\text{опт}} \cdot t3_{\text{опт}}^2}{2} = 12.642 \quad \text{мм} \quad \text{новый пройденный путь на участке разгона}$$

$$S_{\text{торм\_опт\_dvig}} := \frac{a4_{\text{опт}} \cdot t4_{\text{опт}}^2}{2} = 12.642 \quad \text{мм} \quad \text{новый пройденный путь на участке торможения}$$

$$S_{\text{движ\_опт\_dvig}} := S_{\text{rab}} - (S_{\text{разг\_опт\_dvig}} + S_{\text{торм\_опт\_dvig}}) = 144.715 \quad \text{мм} \quad \text{пройденный путь на участке равном. движения}$$

Вычисляем новое время равномерного движения

$$t_{\text{равн\_опт\_dvig}} := \frac{S_{\text{движ\_опт\_dvig}}}{v_{\text{dvig\_опт}}} = 2.57 \quad \text{с} \quad \text{новое время равномерно движения со скоростью } v_{\text{dvig\_опт}}$$

Вычисляем новое время перекладки в генераторном режиме

$$T_{\text{summ\_опт\_dvig}} := t3_{\text{опт}} + t4_{\text{опт}} + t_{\text{равн\_опт\_dvig}} = 3.473 \quad \text{с} \quad \text{НОВОЕ ВРЕМЯ ПЕРЕКЛАДКИ со скоростью } v_{\text{dvig\_опт}}$$

#### 4. Расчет электрической мощности торможения, вырабатываемой двигателем при остановке при движения по нагрузке (ген. режим)

Здесь мы рассчитываем приведенные моменты инерции на валу двигателя и переводим механическую энергию торможения в электрическую

$$M_{\text{стат}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{дин}} := J_{\text{сумм}} \cdot \frac{n_{\text{ген\_опт}}}{t2_{\text{опт}}} \cdot \frac{1}{9.55} = 2.507 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{динамический момент на валу двигателя}$$

$$M := M_{\text{стат}} + M_{\text{дин}} = 7.043 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{Суммарный момент на валу двигателя}$$

$$P_{\text{brake}} := \frac{n_{\text{ген\_опт}}}{9.55} \cdot M = 1.204 \times 10^3 \quad \text{Вт} \quad \text{механическая мощность торможения}$$

$$P := P_{\text{brake}} \cdot \eta_{\text{двиг}} = 1.059 \times 10^3 \quad \text{Вт} \quad \text{электрическая мощность торможения}$$

## От БОРМОТОВА

### *Эл. мощность на участке разгона - генераторный режим*

$$M_{\text{стат}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{дин\_разг}} := J_{\text{сумм}} \cdot \frac{W_{\text{ген\_опт}}}{t1_{\text{опт}}} = 2.507 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{динамический момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{разг}} := M_{\text{дин\_разг}} - M_{\text{стат}} = -2.029 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{Суммарный момент на валу двигателя}$$

$$P_{\text{мех\_макс\_разг}} := W_{\text{ген\_опт}} \cdot M_{\text{разг}} = -346.73 \text{ Вт} \quad \text{максимальная механическая мощность}$$

$$P_{\text{мех\_средн\_разг}} := \frac{W_{\text{ген\_опт}}}{2} \cdot M_{\text{разг}} = -173.368 \text{ Вт} \quad \text{Средняя мощность}$$

$$I_{\text{разг}} := \frac{M_{\text{разг}}}{Kt_{\text{mot}}} = -0.922 \text{ А} \quad \text{Ток на участке разгона}$$

$$P_{\text{ohm\_разг}} := 1.5 \cdot R_{\text{phase}} \cdot I_{\text{разг}} \cdot I_{\text{разг}} = 0.561 \text{ Вт} \quad \text{Мощность, которая выделится на обмотке мотора}$$

$$P_{\text{shunt\_макс\_разг}} := P_{\text{мех\_макс\_разг}} - P_{\text{ohm\_разг}} = -347.297 \text{ Вт} \quad \text{Пиковая мощность шунта}$$

$$P_{\text{shunt\_средн\_разг}} := P_{\text{мех\_средн\_разг}} - P_{\text{ohm\_разг}} = -173.9 \text{ Вт} \quad \text{Средняя мощность шунта}$$

$$P_{\text{shunt\_AVG\_gen}} := \frac{t1_{\text{опт}} \cdot P_{\text{shunt\_средн\_разг}}}{T_{\text{summ\_опт\_gen}}} + \frac{t_{\text{равн\_опт\_ген}} \cdot P_{\text{shunt\_средн\_прям}}}{T_{\text{summ\_опт\_ген}}} + \frac{t2_{\text{опт}} \cdot P_{\text{shunt\_средн\_торм}}}{T_{\text{summ\_опт\_ген}}}$$

$$P_{\text{shunt\_AVG}} := \frac{P_{\text{shunt\_AVG\_gen}}}{2} = -324.555 \quad \text{Вт}$$

Это усредненная мощность шунта за время, хода до другого по заданному циклу и обратно.

## 5. Расчет тормозного резистора

$$R_{\text{br}} := \frac{U^2}{P} = 604.276 \quad \text{Ом} \quad \text{максимально допустимое значение тормозного резистора}$$

$$ED := \frac{t2_{\text{опт}}}{T_{\text{move}}} \cdot 100 = 16.667 \quad \text{продолжительность включения (для поиска Fk по графику)}$$

$$F_k := 7 \quad \text{коэфф, зависящий от ED. Выбираем из графика}$$

$$P_{\text{rb}} := \frac{P}{F_k} = 151.303 \quad \text{Вт} \quad \text{мощность резистора. Используется, если резистор будет работать только в течение времени t2_опт (время торможения в ген. режиме)}$$

$$P_{\text{r\_peak}} := \frac{U^2}{R_{\text{br}}} = 1.059 \times 10^3 \quad \text{мгновенная мощность на резисторе. Эта мощность будет рассеиваться все время пока резистор будет подключен к ЗПТ. Эта мощность будет рассеиваться в виде тепла все время движения привода в генераторном режиме (Tgen)}$$

$$T_{\text{gen}} := t_{\text{равн\_опт\_ген}} + t2_{\text{опт}} = 2.5 \quad \text{с} \quad \text{время в течение которого двигатель работает в генераторном режиме}$$

## От Бормотова

$$R_{\text{br}} := \frac{U^2}{P_{\text{shunt\_макс\_торм}}} = -528.738 \quad \text{Ом} \quad \text{максимально допустимое значение тормозного резистора}$$



## 6. Перенапряжение в звене постоянного тока при отсутствии тормозного резистора

### 6.1 Расчет энергии, требуемой на заряд емкости ЗПТ

Рассмотрим случай питания БУП номинальным напряжением

$U_{in} := 400$  VAC питание БУП

$U_{dc\_nom} := \sqrt{2} \cdot U_{in} = 565.685$  V Выпрямленное напряжение ЗПТ

$U = 800$  V Макс напряжение в ЗПТ

Рассчитаем энергию, необходимую для заряда емкости ЗПТ за время генераторного режима до напряжения U

$T_{sum\_opt\_gen} = 3.001$  время перемещения = времени работы в ген.режиме

$$E_c := \frac{C_{зпт} \cdot 750^2}{2} - \frac{C_{зпт} \cdot 560^2}{2} = 246.411 \quad J \quad \text{Энергия для заряда банок}$$

### 6.2 Расчет энергии в генераторном режиме

#### 6.2.1 Разгон

$$M_{дин\_разг} := J_{сумм} \cdot \frac{0 - n_{gen\_opt}}{t1\_opt} \cdot \frac{1}{9.55} = -2.507 \quad H \cdot m \quad \text{динамический момент на валу двигателя при разгоне}$$

$$M_{разг} := M_{стат} + M_{дин\_разг} = 2.029 \quad H \cdot m \quad \text{Суммарный момент на валу двигателя при разгоне}$$

$$P_{brake\_разг} := \frac{n_{gen\_opt}}{9.55} \cdot M_{разг} = 346.742 \quad Вт \quad \text{механическая мощность при разгоне}$$

$$P_{разг} := P_{brake\_разг} \cdot \eta_{двиг} = 305.133 \quad Вт \quad \text{электрическая мощность торможения}$$

$$E_{разг} := P_{разг} \cdot t1\_opt = 152.571 \quad J \quad \text{энергия торможения}$$

$$U_{разг} := \sqrt{\left( E_{разг} + \frac{C_{зпт} \cdot U_{dc\_nom}^2}{2} \right) \cdot \frac{2}{C_{зпт}}} = 688.558 \quad \text{напряжение до которого зарядятся банки во время разгона без резистора}$$

#### 6.2.2 Равномерное движение

$$M_{стат\_равн} := \frac{F_{шток} \cdot K_{рвп} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{gear2} = 4.536 \quad H \cdot m \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{дин\_равн}} := J_{\text{сумм}} \cdot \frac{n_{\text{ген\_опт}} - n_{\text{ген\_опт}}}{t2_{\text{опт}}} \cdot \frac{1}{9.55} = 0 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \begin{array}{l} \text{динамический момент} \\ \text{на валу двигателя} \\ \text{при разгоне} \end{array}$$

$$M_{\text{разг\_равн}} := M_{\text{стат\_равн}} + M_{\text{дин\_равн}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \begin{array}{l} \text{суммарный момент} \\ \text{на валу двигателя} \end{array}$$

$$P_{\text{brake\_равн}} := \frac{n_{\text{ген\_опт}}}{9.55} \cdot M_{\text{разг\_равн}} = 775.143 \quad \text{Вт} \quad \text{механическая мощность при разгоне}$$

$$P_{\text{разг\_равн}} := P_{\text{brake\_равн}} \cdot \eta_{\text{двиг}} = 682.126 \quad \text{Вт} \quad \text{электрическая мощность торможения}$$

$$E_{\text{равн}} := P_{\text{разг\_равн}} \cdot t_{\text{равн\_опт\_ген}} = 1.365 \times 10^3 \text{ J} \quad \text{энергия торможения}$$

$$U_{\text{равн}} := \sqrt{\left( E_{\text{равн}} + \frac{C_{\text{элп}} \cdot U_{\text{dc\_nom}}^2}{2} \right) \cdot \frac{2}{C_{\text{элп}}}} = 1.303 \times 10^3 \quad \begin{array}{l} \text{напряжение до которого зарядятся} \\ \text{банки во время равн. движения} \\ \text{без резистора} \end{array}$$

### 6.2.3 Торможение

$$M_{\text{стат\_торм}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \begin{array}{l} \text{стат. момент на валу} \\ \text{двигателя} \end{array}$$

$$M_{\text{дин\_торм}} := J_{\text{сумм}} \cdot \frac{n_{\text{ген\_опт}} - 0}{t2_{\text{опт}}} \cdot \frac{1}{9.55} = 2.507 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \begin{array}{l} \text{динамический момент на валу} \\ \text{двигателя при разгоне} \end{array}$$

$$M_{\text{торм\_равн}} := M_{\text{стат\_торм}} + M_{\text{дин\_торм}} = 7.043$$

$$t_{\text{равн\_опт\_ген}} = 2 \quad \text{с} \quad \text{время равномерного движения}$$

$$P_{\text{brake\_торм}} := \frac{n_{\text{ген\_опт}}}{9.55} \cdot M_{\text{торм\_равн}} = 1.204 \times 10^3 \quad \text{Вт} \quad \begin{array}{l} \text{механическая мощность} \\ \text{при разгоне} \end{array}$$

$$P_{\text{торм\_равн}} := P_{\text{brake\_торм}} \cdot \eta_{\text{двиг}} = 1.059 \times 10^3 \quad \text{Вт} \quad \text{электрическая мощность торможения}$$

$$E_{\text{торм}} := P_{\text{торм\_равн}} \cdot t2_{\text{опт}} = 529.575 \quad \text{J} \quad \text{энергия торможения}$$

$$U_{\text{торм}} := \sqrt{\left( E_{\text{торм}} + \frac{C_{\text{элп}} \cdot U_{\text{dc\_nom}}^2}{2} \right) \cdot \frac{2}{C_{\text{элп}}}} = 924.621 \quad \begin{array}{l} \text{напряжение до которого зарядятся} \\ \text{банки во время торможения без} \\ \text{резистора} \end{array}$$

$$E_{\text{сумм}} := E_{\text{разг}} + E_{\text{равн}} + E_{\text{торм}} = 2.047 \times 10^3 \quad \text{J} \quad \begin{array}{l} \text{суммарная энергия генератора во} \\ \text{всех режимах} \end{array}$$

$$U_{\text{макс}} := \sqrt{\left( E_{\text{сумм}} + \frac{C_{\text{ЗПТ}} \cdot U_{\text{dc\_nom}}^2}{2} \right) \cdot \frac{2}{C_{\text{ЗПТ}}}} = 1.545 \times 10^3$$

напряжение до которого  
зарядятся банки в генераторном  
режиме без резистора

## RATED DATA

Motor type

2-5000

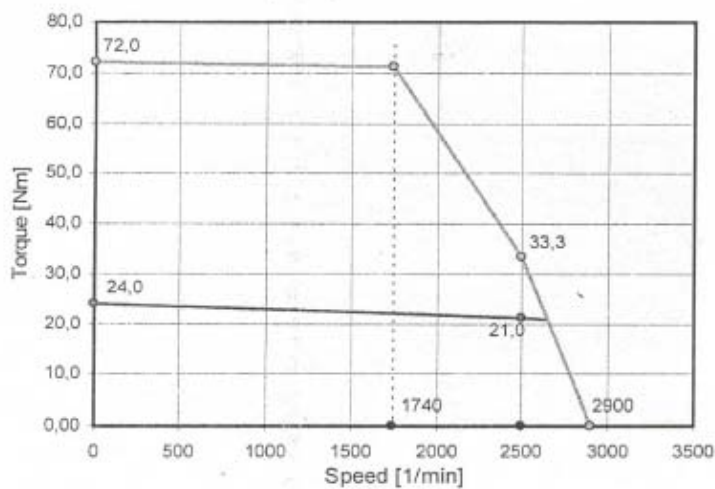
	N5	2400	25	560
--	----	------	----	-----

Rated Speed	$n_n$	2500 min <sup>-1</sup>
DC Bus Voltage	$U_{dc}$	560 V
Nominal AC Voltage	$U_n$	380 V
Rated Motor Voltage	$U_m$	321 V
Rated Torque	$M_n$	21,0 Nm
Rated AC Current	$I_n$	11,6 A
Stall Torque	$M_o$	24,0 Nm
Stall AC Current	$I_o$	11,1 A
Peak Torque	$M_{max}$	72 Nm
Peak Current	$I_{max}$	38 A
Max. Speed	$n_{max}$	9000 min <sup>-1</sup>
EMF Constant	$K_E$	131,0 V/1000
Torque Constant	$K_T$	2,2 Nm/A
Terminal Resistance	$R_{2ph}$	0,88 $\Omega$
Terminal Inductance	$L_{2ph}$	7,8 mH
Number of poles	$2p$	10

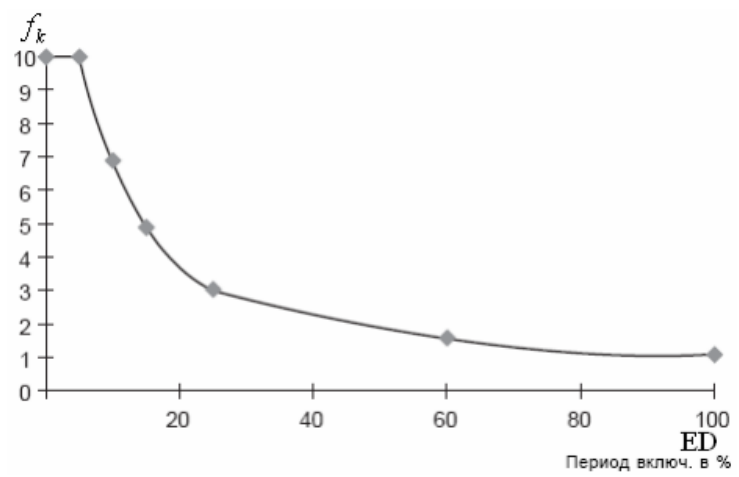
No Load Speed	$n_o$	2900 min <sup>-1</sup>
Torque at $I_{max}/U_n$	$M_z$	71 Nm
Speed at $I_{max}/U_n$	$n_z$	1740 min <sup>-1</sup>
Max. Torque at $n_n$	$M_x$	33 Nm

El. Time Constant	$T_{el}$	8,9 ms
Mech. Time Constant	$T_{mech}$	0,61 ms
Thermal Time Constant	$T_{th}$	75 min
Rotor Inertia	$J$	18,7 kgcm <sup>2</sup>

Torque/speed curves



30.05.2012





**Эл. мощность на прямолинейном участке - генераторный режим**

$$M_{\text{стат}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{дин\_прям}} := 0 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{динамический момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{прям}} := M_{\text{дин\_прям}} - M_{\text{стат}} = -4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{Суммарный момент на валу двигателя}$$

$$P_{\text{мех\_макс\_прям}} := W_{\text{ген\_опт}} \cdot M_{\text{прям}} = -775.2 \quad \text{Вт} \quad \text{максимальная механическая мощность}$$

$$P_{\text{мех\_средн\_прям}} := W_{\text{ген\_опт}} \cdot M_{\text{прям}} = -775.2 \quad \text{Вт} \quad \text{Средняя мощность}$$

$$I_{\text{прям}} := \frac{M_{\text{прям}}}{K_{\text{т\_mot}}} = -2.062 \quad \text{А} \quad \text{Ток на прямолин участке}$$

$$P_{\text{ohm\_прям}} := 1.5 \cdot R_{\text{phase}} \cdot I_{\text{прям}} \cdot I_{\text{прям}} = 2.806 \quad \text{Вт} \quad \text{Мощность, которая выделится на обмотке мотора}$$

$$P_{\text{shunt\_макс\_прям}} := P_{\text{мех\_макс\_прям}} - P_{\text{ohm\_прям}} = -778.006 \quad \text{Вт} \quad \text{Пиковая мощность шунта}$$

$$P_{\text{shunt\_средн\_прям}} := P_{\text{мех\_средн\_прям}} - P_{\text{ohm\_прям}} = -778.006 \quad \text{Вт} \quad \text{Средняя мощность шунта}$$

$$\frac{N_{\text{торм}}}{n} = -649.109$$

Вт

Это усредненная мощность шунта за время, когда привод перемещается  
хода  
до другого по заданному циклу и находится все время в генераторном реж

когда привод перемещается от одного конца



**Эл. мощность на участке торможения - генераторный режим**

$$M_{\text{стат}} := \frac{F_{\text{шток}} \cdot K_{\text{рвп}} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} \cdot \eta_{\text{gear2}} = 4.536 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{стат. момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{дин\_торм}} := J_{\text{сумм}} \cdot \frac{W_{\text{ген\_опт}}}{t2_{\text{опт}}} = 2.507 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{динамический момент на валу двигателя}$$

$$M_{\text{торм}} := -M_{\text{дин\_торм}} - M_{\text{стат}} = -7.043 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad \text{Суммарный момент на валу двигателя}$$

$$P_{\text{мех\_макс\_торм}} := W_{\text{ген\_опт}} \cdot M_{\text{торм}} = -1.204 \times 10^3 \text{ Вт} \quad \text{максимальная механическая мощность}$$

$$P_{\text{мех\_средн\_торм}} := \frac{W_{\text{ген\_опт}}}{2} \cdot M_{\text{торм}} = -601.832 \text{ Вт} \quad \text{Средняя мощность}$$

$$I_{\text{торм}} := \frac{M_{\text{торм}}}{K_{\text{т\_мот}}} = -3.201 \quad \text{А} \quad \text{Ток на участке разгона}$$

$$P_{\text{ohm\_торм}} := 1.5 \cdot R_{\text{phase}} \cdot I_{\text{торм}} \cdot I_{\text{торм}} = 6.764 \text{ Вт} \quad \text{Мощность, которая выделяется обмотке мотора}$$

$$P_{\text{shunt\_макс\_торм}} := P_{\text{мех\_макс\_торм}} - P_{\text{ohm\_торм}} = -1.21 \times 10^3 \text{ Вт} \quad \text{Пиковая мощность шунта}$$

$$P_{\text{shunt\_средн\_торм}} := P_{\text{мех\_средн\_торм}} - P_{\text{ohm\_торм}} = -608.596 \text{ Вт} \quad \text{Средняя мощность шунта}$$

от одного конца

к име

НОСТЬ

на