

## Введение:

Во время торможения электродвигатель (в дальнейшем ЭД) работает в генераторном режиме, где возвращает энергию в электропривод (в дальнейшем ЭП). Это вызывает увеличение напряжения в звене постоянного напряжения. Для того чтобы избежать повышения напряжения, в приводе реализована функция поддержания напряжения в звене постоянного напряжения в допустимых значениях. Когда ЭД тормозится, сбрасывающий транзистор рассеивает излишки энергии в тормозном резисторе (в дальнейшем TR).

### Для выбора TR необходимы следующие параметры:

$P_{conv\_nom}$  – номинальная мощность ЭП.

$P_{brakingchopper\_max}$  – максимальная мощность сбрасывающего транзистора.

$R_{brakingchopper\_min}$  – минимальное значение сопротивления TR, которое может использоваться в ЭП.

$I_{max\_ЭП}$  – максимальный ток ЭД, полученный от ЭП (p26<sup>1</sup>).

$K_{\tau}$  – постоянная момента ЭД (p212).

Поскольку мы считаем линейной зависимостью  $M_{ЭД} = f(I_{ЭД})$  и равенство выходного тока ЭП току ЭД, то можем найти максимальное значение момента ЭД при максимальном выходном токе ЭП.

$$M_{max\_ЭП}[\text{Нм}] = I_{max\_ЭП}[\text{Аскз}] * K_{\tau} \left[ \frac{\text{Нм}}{\text{Аскз}} \right] -$$

максимальный момент ЭД, полученный от ЭП.

$U_{dc\_max}$  – максимальное напряжение звена постоянного напряжения ЭП (p23).

$P_{motor\_nom}$  – номинальная мощность ЭД (p301).

$M_{nom\_ЭД}$  – номинальный момент ЭД (p202).

$\eta$  – коэффициент полезного действия ЭД.

$n_{nom}$  – номинальная скорость ЭД (p204).

$M_{max\_ЭД}$  – максимальный момент ЭД (p206).

$J_{motor}$  – момент инерции ЭД (p211).

$J_{load}$  – момент инерции нагрузки.

$t_{brake}$  и  $M_{brake}$  – время торможение от номинальной скорости до нуля и тормозной момент.

$t_{cycle}$  – время цикла работы.

$R_{res}$  – сопротивление TR.

$P_{res\_nom}$  – номинальная мощность TR.

## Глава 1. Расчет TR для электропривода подачи.

### Шаг 1.

Возможны два варианта расчета (Шаг 1.1 и Шаг 1.2). В обоих вариантах предполагается постоянство момента ЭД, в зависимости от скорости. Предлагаем выбрать один из них, более удобный в вашем конкретном случае.

---

<sup>1</sup> Параметры, используемые в программе ServoMonitor

### Шаг 1.1. Определение тормозного момента по известному значению времени торможения.

$$M_{brake}[\text{Нм}] = \frac{(J_{motor}[\text{кг} * \text{м}^2] + J_{load}[\text{кг} * \text{м}^2]) * n_{nom}[\frac{\text{об}}{\text{мин}}]}{9.55 * t_{brake}[\text{сек}]} \quad (1)$$

### Шаг 1.2. Определение времени торможения по известному значению тормозного момента.

$$t_{brake}[\text{сек}] = \frac{(J_{motor}[\text{кг} * \text{м}^2] + J_{load}[\text{кг} * \text{м}^2]) * n_{nom}[\frac{\text{об}}{\text{мин}}]}{9.55 * M_{brake}[\text{Нм}]} \quad (2)$$

В обоих случаях необходимо выполнение условий :

$$M_{brake} \leq (M_{max\_ЭП}) \quad \text{Условие (I)}$$

$$M_{brake} \leq (M_{max\_ЭД}) \quad \text{Условие (II)}$$

### Шаг 2. Определение мощности торможения.

$$P_{brake}[\text{Вт}] = \frac{M_{brake}[\text{Нм}] * n_{nom}[\frac{\text{об}}{\text{мин}}]}{9.55} * \eta \quad (3)$$

В данном случае  $\cos\phi$  для синхронного мотора близок к 1 и не учитывается при расчетах. Необходимо выполнение условия:

$$P_{brake} \leq P_{brakingchopper\_max} \quad \text{Условие (III)}$$



$P_{brake}$  — является максимальной мощностью при скорости  $n_{nom}$ .

### Шаг 3. Определение сопротивления ТР.

$$R_{brake}[\text{Ом}] = \frac{U_{dc\_max}^2[\text{В}^2]}{P_{brake}[\text{Вт}]} \quad (4)$$

Необходимо выполнение условия:

$$R_{brake} \geq R_{brakingchopper\_min} \quad \text{Условие (IV)}$$

### Шаг 4. Определение периода включения ТР.

$$t_{on}[\%] = \frac{t_{brake}[\text{сек}]}{t_{cycle}[\text{сек}]} * 100\% \quad (5)$$

## Шаг 5. Определение константы $f_k$ в зависимости от периода работы по рис.1 или по формуле (6).

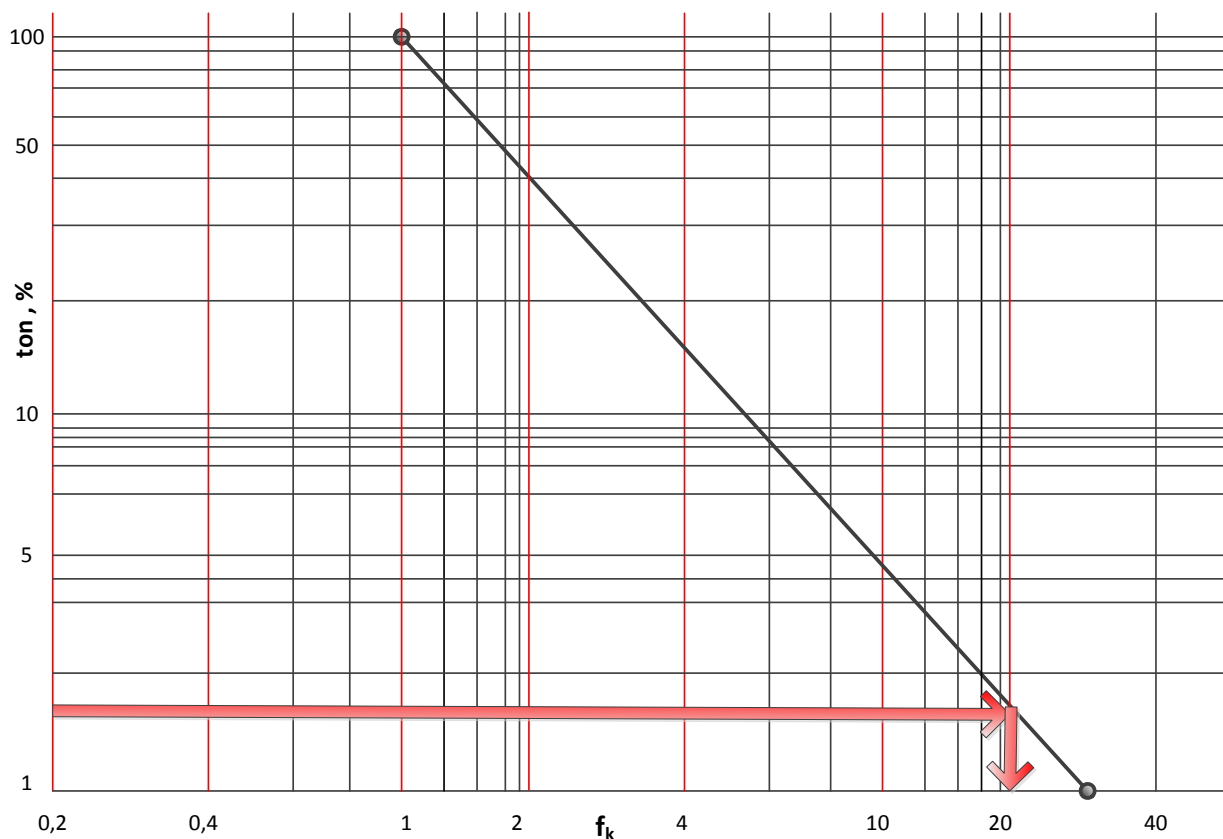


Рисунок 1. Зависимость константы  $f_k$  от периода включения

$$f_k = \frac{10^{((-0.7) * \lg(t_{on}[\%]) + 4.2)}}{500} \quad (6)$$

## Шаг 6. Определение номинальной мощности ТР.

$$P_{brake\_nom}[\text{Вт}] = \frac{P_{max}[\text{Вт}]}{f_k} \quad (7)$$

## Шаг 7. Выбор ТР.

Необходимо выполнение условий:

сопротивление резистора ( $R_{res}$ ):  $R_{breakingchopper\_min} \leq R_{res} \leq R_{brake}$ ; Условие (V)

номинальная мощность резистора ( $P_{res\_nom}$ ):  $P_{res\_nom} \geq P_{brake\_nom}$ . Условие (VI)

## Пример 1.1 Расчет ТР для ЭП CSD-DH16 и ЭД 215NYS-M20

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 10.5 \text{ кВт}$$

$$P_{brakingchopper\_max} = 12.6 \text{ кВт}$$

$$R_{brakingchopper\_min} = 52 \text{ Ом}$$

$$P_{motor\_nom} = 6.4 \text{ кВт}$$

$$M_{nom\_ЭД} = 30.4 \text{ Нм} \quad M_{max\_ЭД} = 125 \text{ Нм}$$

$$M_{max\_ЭП} = 75.6 \text{ Нм}$$

$$\eta = 0.79$$

$$n_{nom} = 2000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$J_{motor} = 0.013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{load} = 0.04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$U_{dc\_max} = 780 \text{ В}$$

$$t_{brake} = 0.2 \text{ сек (смотреть Шаг 1.1)}$$

$$t_{cycle} = 12 \text{ сек}$$

Произведем расчет:

Шаг 1.1 по формуле (1)  $M_{brake} = 54.67 \text{ Нм}$  (Выполняются условия (I) и (II)).

Шаг 2 по формуле (3)  $P_{brake} = 9 \text{ кВт}$  (Выполняется условие (III)).

Шаг 3 по формуле (4)  $R_{brake} = 67.5 \text{ Ом}$  (Выполняется условие (IV)).

Шаг 4 по формуле (5)  $t_{on} = 2.5 \%$ .

Шаг 5 по рис 1. находим  $f_k = 20$ .

Шаг 6 по формуле (7)  $P_{brake\_nom} = 450 \text{ Вт}$ .

Шаг 7 выбор резистора:  $R_{res} = 62 \text{ Ом}$  (из ряда E24),

$P_{res\_nom} = 500 \text{ Вт}$ . (Выполняются условия (V) и (VI)).

## Пример 1.2 Расчет по ТР RXLG-500W, поставляемых для ЭП CSD-DH16

Это обратная задача: на основании имеющегося резистора рассчитать условия торможения ЭД и соответствие их необходимым (заданным).

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 10.5 \text{ кВт}$$

$$P_{brakingchopper\_max} = 12.6 \text{ кВт}$$

$$R_{brakingchopper\_min} = 52 \text{ Ом}$$

$$U_{dc\_max} = 780 \text{ В}$$

$$P_{res\_nom} = 500 \text{ Вт- ТР RXLG-500W}$$

$$R_{res} = 60 \text{ Ом - ТР RXLG-500W}$$

$$t_{brake\_max} = 0.2 \text{ сек - необходимое (максимальное) время торможения для ЭД}$$

215NYS-M20 . Необходимо выполнение условия:

$$t_{brake} \leq t_{brake\_max}$$

Условие (VII)

Произведем расчет:

Действие 1. Определение мощности торможения:

$$P_{brake} [\text{Вт}] = \frac{U_{dc\_max}^2 [\text{В}^2]}{R_{res} [\text{Вт}]} = 10 [\text{кВт}].$$

Выполняется условие (III) и (IV). ТР RXLG-500W подходит для ЭП CSD-DH16.

**Действие 2.** Определение тормозного момента для ЭД *215NYS-M20*:

$$M_{brake}[\text{Нм}] = \frac{P_{brake}[\text{Вт}] * 9.55}{n_{nom} \left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right] * \eta} = 61 [\text{Нм}]$$

Выполняются условия (I) и (II).

**Действие 3.** Определение времени торможения для ЭД *215NYS-M20* :

по формуле (1)  $t_{brake} = 0.18$  сек.

Величина  $t_{brake} \leq t_{brake\_max}$ . Что и требовалось по условию (VII) задачи.

---

После рассмотрения примера 1.1 и 1.2, в соответствии с условием (V), (VI) и (VII), можно сказать, что ТР *RXLG-500W* подходит для ЭД *215NYS-M20*.

После анализа примера 1.1, формул (1) и (2) и условий (I) и (II) для всей линейки ЭД предлагаемых для ЭП *CSD-DH16* можно сделать существенный вывод:



---

Тормозной резистор *RXLG-500W* удовлетворяет условиям торможения для всех электродвигателей поставляемых с ЭП *CSD-DH16*.

---

### **Пример 1.3 Расчет ТР для ЭП *CSD-DH30* и ЭД *215NYS-L1-30***

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{brakingchopper\_max} = 31 \text{ кВт}$$

$$R_{brakingchopper\_min} = 19.5 \text{ Ом}$$

$$P_{motor\_nom} = 11 \text{ кВт}$$

$$M_{nom\_ЭД} = 35 \text{ Нм} \quad M_{max\_ЭД} = 125 \text{ Нм}$$

$$M_{max\_ЭП} = 80.6 \text{ Нм}$$

$$\eta = 0.81$$

$$n_{nom} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$J_{motor} = 0.017 \text{ кг} * \text{м}^2$$

$$J_{load} = 0.065 \text{ кг} * \text{м}^2$$

$$U_{dc\_max} = 780 \text{ В}$$

$$M_{brake} = 63 \text{ Нм} \text{ (смотреть Шаг 1.2)}$$

$$t_{cycle} = 24 \text{ сек}$$

**Произведем расчет:**

**Шаг 1.2** по формуле (1)  $t_{brake} = 0.4$  сек (Выполняются условия (I) и (II))

**Шаг 2** по формуле (3)  $P_{brake} = 16$  кВт (Выполняется условие (III))

**Шаг 3** по формуле (4)  $R_{brake} = 38$  Ом (Выполняется условие (IV))

**Шаг 4** по формуле (5)  $t_{on} = 2.5$  %

**Шаг 5** по формуле (6) находим  $f_k = 20$

**Шаг 6** по формуле (7)  $P_{brake\_nom} = 800$  Вт

**Шаг 7** Выбор резистора:  $R_{res} = 36$  Ом (из ряда E24),

$P_{res\_nom} = 800$  Вт. (Выполняются условия (V) и (VI))

## Пример 1.4 Расчет по ТР *RXLG-800W* ЭП *CSD-DH30*

Это обратная задача: на основании имеющегося резистора рассчитать условия торможения ЭД и соответствие их необходимым (заданным).

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{breakingchopper\_max} = 31 \text{ кВт}$$

$$R_{breakingchopper\_min} = 19.5 \text{ Ом}$$

$$U_{dc\_max} = 780 \text{ В}$$

$$P_{res\_nom} = 800 \text{ Вт- ТР } RXLG-800W$$

$$R_{res} = 30 \text{ Ом –ТР } RXLG-800W$$

$t_{brake\_max} = 0.4$  сек –необходимое (максимальное) время торможения для ЭД *215NYS- L1-30* .Необходимо выполнение условия:

$$t_{brake} \leq t_{brake\_max} \text{ Условие (VII)}$$

Произведем расчет:

**Действие 1.**Определение мощности торможения:

$$P_{brake}[\text{Вт}] = \frac{U_{dc\_max}^2[\text{В}^2]}{R_{res}[\text{Вт}]} = 20 \text{ [кВт]}$$

Выполняется условие (III)и (IV).ТР *RXLG-800W* подходит для ЭП *CSD-DH30*.

**Действие 2.**Определение тормозного момента для ЭД *215NYS- L1-30*:

$$M_{brake}[\text{Нм}] = \frac{P_{brake}[\text{Вт}] * 9.55}{n_{nom} \left[ \frac{\text{об}}{\text{МИН}} \right] * \eta} = 78.6 \text{ [Нм]}$$

Выполняется условия (I)и (II).

**Действие 3.**Определение времени торможения для ЭД *215NYS- L1-30* :

по формуле (1)  $t_{brake} = 0.3$  сек .

Величина  $t_{brake} \leq t_{brake\_max}$ . Что и требовалось по условию (VII) задачи.

---

После рассмотрения примера 1.3 и 1.4, в соответствии с условием (V) ,(VI) и (VII), можно сказать, что ТР *RXLG-800W* подходит для ЭД *215NYS- L1-30*.

После анализа примера 1.3, формул (1) и (2) и условий (I)и (II) для всей линейки ЭД предлагаемых для ЭП *CSD-DH30* можно сделать существенный вывод:



---

Тормозной резистор *RXLG-800W* удовлетворяет условиям торможения для всех электродвигателей поставляемых с ЭП *CSD-DH30*.

---

## Глава 2. Расчет ТР для привода шпинделя

В большинстве случаев управление шпинделем ведется с помощью асинхронного ЭД. Управление асинхронным ЭД можно разделить на две зоны:

- 1) Зона постоянного момента (от 0 до  $n_{nom}$ ).
- 2) Зона постоянной мощности (от  $n_{nom}$  до  $n_{max}$ ).

### Шаг 1. Зона постоянного момента

Уравнение движения ЭД выглядит следующим образом

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \quad (8)$$

Найдем из этой формулы (7) время.  $M_c$  – момент сопротивления, не учитывается.

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega = \frac{M}{J} \int_{t_1}^{t_2} dt$$
$$\Delta t = \frac{(\omega_2 - \omega_1) * J}{M} \quad (9)$$

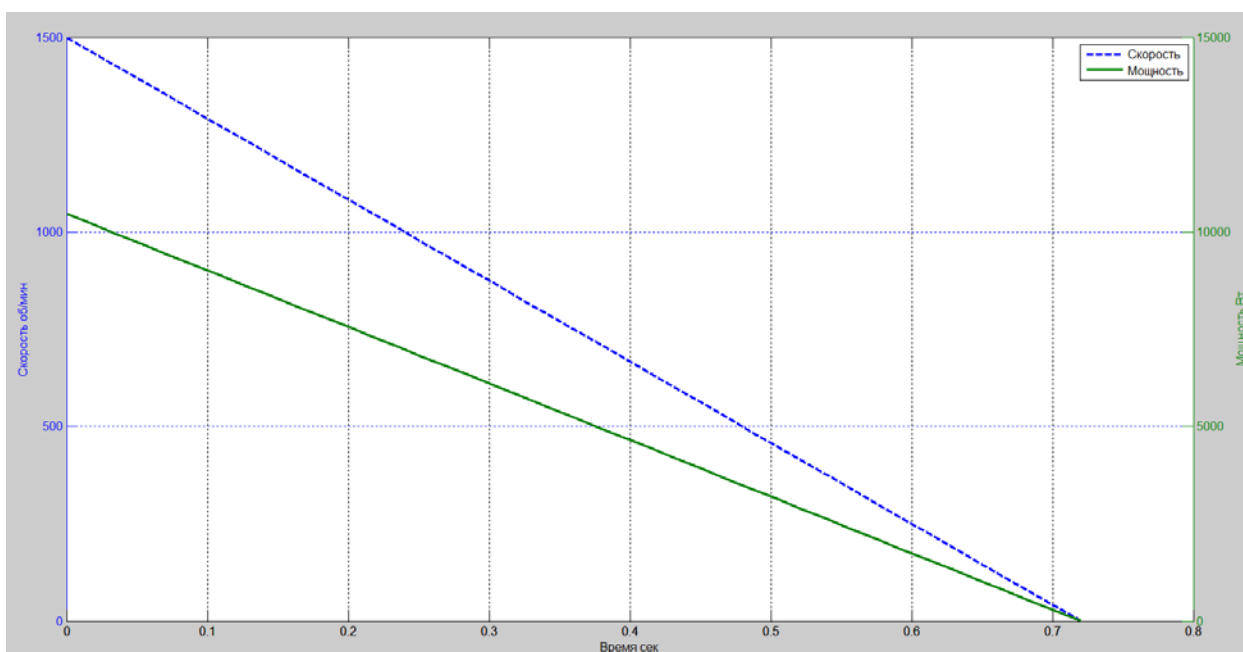


Рисунок 2. Характеристики скорости и мощности от времени в первой зоне

Возможны два варианта расчета (Шаг 1.1 и Шаг 1.2). В обоих вариантах предполагается постоянство момента ЭД, в зависимости от скорости в первой зоне. Предлагаем выбрать один из них, более удобный в вашем конкретном случае.

### Шаг 1.1. Определение максимального тормозного момента по известному значению времени торможения.

$$M_{brake} [Нм] = \frac{(J_{motor} [кг * м^2] + J_{load} [кг * м^2]) * (n_{nom} [\frac{об}{мин}])}{9.55 * t_1 [сек]} \quad (10)$$

Где,  $t_1$  – это время торможения от номинальной скорости ЭД до нуля.

## Шаг 1.2. Определение времени торможения по известному значению тормозного момента.

$$t_1[\text{сек}] = \frac{(J_{motor}[\text{кг} \cdot \text{м}^2] + J_{load}[\text{кг} \cdot \text{м}^2]) * n_{nom}[\frac{\text{об}}{\text{мин}}]}{9.55 * M_{brake}[\text{Нм}]} \quad (11)$$

В обоих случаях необходимо выполнение условий :

$$M_{brake} \leq (M_{max\_ЭП}) \quad \text{Условие(VIII)}$$

$$M_{brake} \leq (M_{max\_ЭД}) \quad \text{Условие (IX)}$$

## Шаг 2. Определение тормозной мощности

$$P_{brake}[\text{Вт}] = \frac{M_{brake}[\text{Нм}] * n_{nom}[\frac{\text{об}}{\text{мин}}]}{9.55} * \eta * \cos(\varphi) \quad (12)$$

В данном случае  $\cos(\varphi)$  для асинхронного двигателя меньше 1 и должен учитываться в расчетах . Необходимо выполнение условия:

$$P_{brake} \leq P_{brakingchopper\_max} \quad \text{Условие (X)}$$

## Шаг 3. Определение времени торможения в зоне постоянной мощности.

В зоне постоянной мощности момент ЭД не постоянный в зависимости от скорости.

В соответствии с законом сохранения энергии и предполагая, что вся энергия торможения рассеивается на резисторе, можно представить уравнение работы в данном виде:

$$\frac{J * (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2} = P * \Delta t \quad (13)$$

Из формулы (13) найдем время.

$$\Delta t = \frac{J * (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2 * P} \quad (14)$$

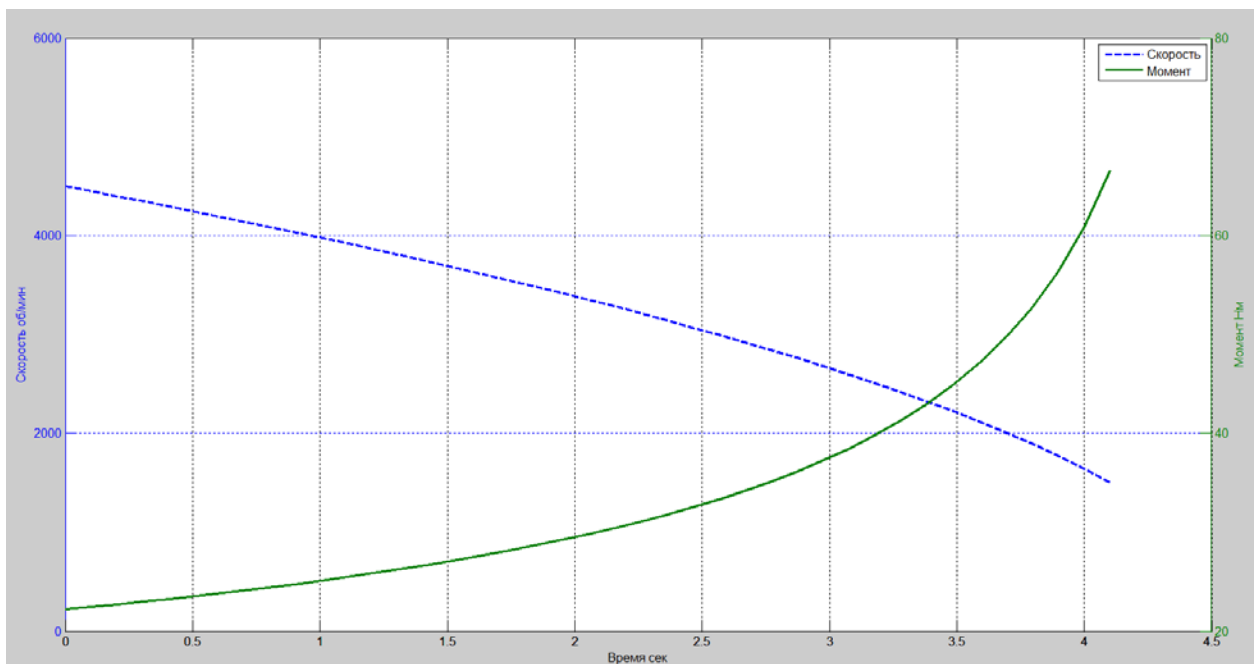


Рисунок 3. Характеристики скорости и момента от времени во второй зоне

Исходя из постоянства мощности в зависимости от скорости и времени, найдем время торможения.



$$t_2[\text{сек}] = \frac{(J_{motor}[\text{кг} * \text{м}^2] + J_{load}[\text{кг} * \text{м}^2]) * ((n_2 \left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right])^2 - (n_{nom} \left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right])^2)}{2 * 9.55 * P_{brake\_max}[\text{Вт}]} \quad (15)$$

где,  $n_2$  – максимальная скорость в зоне постоянной мощности.

$$t_{brake}[\text{сек}] = t_1[\text{сек}] + t_2[\text{сек}] \quad (16)$$



В соответствии с ГОСТ 12.2.009-99, п.14.3.4 для фрезерно-расточных станков «Время остановки шпинделя (без инструмента) после его выключения не должно превышать 6 с.» ( $t_{brake} \leq 6$  с.). В соответствии с ГОСТ 12.2.009-99, п.14.1.3 «В универсальных токарных станках время торможения шпинделя после его выключения при всех частотах вращения не должно превышать, 5 с.» ( $t_{brake} \leq 5$  с.).

Условие (XI)

#### Шаг 4. Определение сопротивления ТР.

$$R_{brake}[\text{Ом}] = \frac{U_{dc\_max}^2[\text{В}^2]}{P_{brake\_max}[\text{Вт}]} \quad (17)$$

Необходимо выполнения условия:

$$R_{brake} \geq R_{brakingchopper\_min} \quad \text{Условие (XII)}$$

#### Шаг 5. Определение периода включения ТР.

$$t_{on}[\%] = \frac{t_{brake}[\text{сек}]}{t_{cycle}[\text{сек}]} * 100\% \quad (18)$$

Где,  $t_{brake}$  – общее время торможения ЭД.

#### Шаг 6. Определение константы $f_k$ в зависимости от периода работы по рис.4 или по формуле (19).

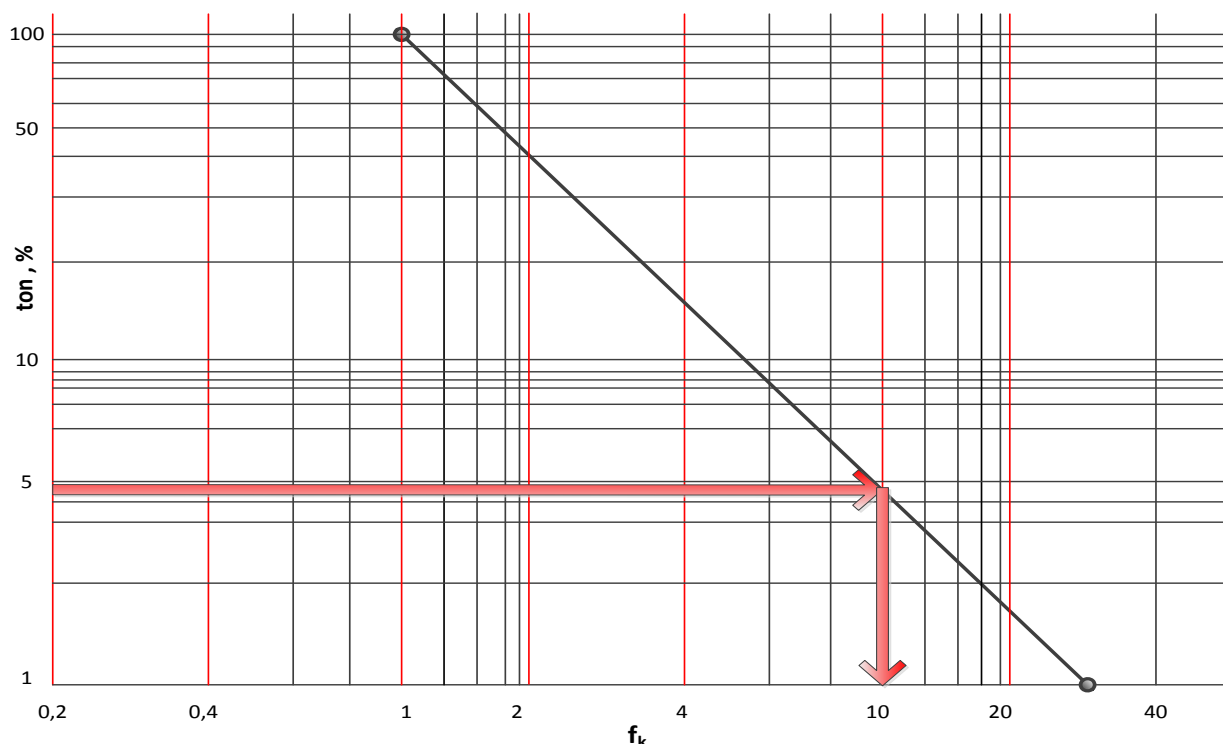


Рисунок 4. Зависимость константы  $f_k$  от периода включения

$$f_k = \frac{10^{((-0.7) * \lg(t_{on}[\%]) + 4.2)}}{500} \quad (19)$$

## Шаг 7. Определение номинальной мощности ТР.

$$P_{brake\_nom}[\text{Вт}] = \frac{P_{max}[\text{Вт}]}{f_k} \quad (20)$$

## Шаг 8. Выбор ТР.

Необходимо выполнение условий:

сопротивление резистора ( $R_{res}$ ):  $R_{brakingchopper\_min} \leq R_{res} \leq R_{brake}$  Условие (XIII)

номинальная мощность резистора ( $P_{res\_nom}$ ):  $P_{res\_nom} \geq P_{brake\_nom}$  Условие (XIV)

### Пример 2.1 Расчет ТР для ЭП Yaskawa 4A0031 и

### ЭД ДН13-2-95-15/18.5

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{brakingchopper\_max} = 32 \text{ кВт}$$

$$R_{brakingchopper\_min} = 20 \text{ Ом}$$

$$P_{motor\_nom} = 15 \text{ кВт}$$

$$M_{nom\_ЭД} = 95 \text{ Нм}$$

$$M_{max\_ЭД} = 125 \text{ Нм}$$

$$\eta = 0.92$$

$$\cos(\varphi) = 0.76$$

$$n_{nom} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$n_2 = 4500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$J_{motor} = 0.065 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{load} = 0.37 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$U_{dc\_max} = 800 \text{ В}$$

$$M_{brake} = 95 \text{ Нм (смотреть Шаг 1.2)}$$

$$t_{cycle} = 110 \text{ сек}$$

Произведем расчет:

Шаг 1.2. по формуле (11)  $t_1 = 0.72$  сек (Выполняются условия (VIII) и (IX))

Шаг 2. по формуле (12)  $P_{brake} = 10$  кВт (Выполняется условие (X))

Шаг 3. по формуле (15)  $t_2 = 4.1$  сек

по формуле (16)  $t_{brake} = 4.82$  сек (Выполняется условие (XI)).

Шаг 4. по формуле (17)  $R_{brake} = 61$  Ом (Выполняется условие (XII)).

Шаг 5. по формуле (18)  $t_{on} = 4.5$  %

Шаг 6. по рис 4. находим  $f_k = 10$ .

Шаг 7. по формуле (20)  $P_{brake\_nom} = 1$  кВт.

Шаг 8. Выбор резистора:  $R_{res} = 60$  Ом (из ряда E24),

$P_{res\_nom} = 1$  кВт. (Выполняются условия (XIII) и (XIV))

## Пример 2.2 Расчет по ТР *RXLG-1000W*, поставляемых с ЭП *Yaskawa 4A0031*

Это обратная задача: на основании имеющегося резистора рассчитать условия торможения ЭД и соответствие их необходимым (заданным).

Дано:

$$P_{conv\_nom} = 20 \text{ кВт}$$

$$P_{breakingchopper\_max} = 32 \text{ кВт}$$

$$R_{breakingchopper\_min} = 20 \text{ Ом}$$

$$U_{dc\_max} = 800 \text{ В}$$

$$P_{res\_nom} = 1 \text{ кВт- ТР } RXLG-1000W$$

$$R_{res} = 50 \text{ Ом -ТР } RXLG-1000W$$

$t_{1\_max} = 0.72$  сек –необходимое (максимальное) время торможения для ЭД *DH13-2-95-15/18.5*. Необходимо выполнение условия:

$$t_1 \leq t_{1\_max} \quad \text{Условие (XV)}$$

**Произведем расчет:**

**Действие 1.** Определение мощности торможения:

$$P_{brake} [\text{Вт}] = \frac{U_{dc\_max}^2 [\text{В}^2]}{R_{res} [\text{Ом}]} = 12.8 \text{ [кВт]}.$$

Данный резистор подходит для данного привода (в соответствии с условием (X) и (XII))

**Действие 2.** Определение тормозного момента для ЭД (X) и (XII)

$$M_{brake} [\text{Нм}] = \frac{P_{brake} [\text{Вт}] * 9.55}{n_{nom} \left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right] * \eta * \cos\varphi} = 116.55 \text{ [Нм]}$$

Выполняется условия (VIII) и (IX).

**Действие 3.** Определение времени торможения для ЭД *DH13-2-95-15/18.5*: по формуле (10)  $t_1 = 0.6$  сек .

Величина  $t_1 \leq t_{1\_max}$ . Что и требовалось по условию (XV) задачи.

---

После рассмотрения примера 2.1 и 2.2, в соответствии с условием (XII), (XIV) и (XV), можно сказать, что ТР *RXLG-1000W* подходит для ЭД *DH13-2-95-15/18.5*.

После анализа примера 2.1, формул (11) и (12) и условий (VIII) и (IX) для всей линейки ЭД предлагаемых для ЭП *Yaskawa 4A0031* можно сделать существенный вывод:



---

Тормозной резистор *RXLG-1000W* удовлетворяет условиям торможения для всех электродвигателей поставляемых с ЭП *Yaskawa 4A0031*.

---

## Глава 3. Расчет торможения без ТР

### Расчет максимальной скорости, с которой возможно торможение без ТР до полной остановки.

Закон сохранения энергии :

$$\frac{J * (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2} = \frac{C * (U_2^2 - U_1^2)}{2} \quad (21)$$

Из формулы (21), не учитывая потери в ЭП и момент инерции нагрузки, следует следующее выражение:

$$n_{brake\_max}[\text{об/мин}] = \sqrt{\frac{C[\Phi] * (U_{dc\_2}^2[B^2] - U_{dc\_1}^2[B^2])}{J_{motor}[\text{кг} * \text{м}^2]}} * 9,55 \quad (22)$$

Где,  $U_{dc\_2}$ -switch-on voltage of braking transistor,  $U_{dc\_1}$ -DC-bus rated voltage,  $C$ -full емкость цепи постоянного тока.

### Пример 3.1 Расчет торможения без ТР для ЭП CSD-DH16 и ЭД 215NYS-M20

$$P_{conv\_nom} = 10.5 \text{ кВт}$$

$$P_{motor\_nom} = 6.4 \text{ кВт}$$

$$n_{nom} = 2000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$C = 840 \text{ мкФ}$$

$$J_{motor} = 0.013 \text{ кг} * \text{м}^2$$

$$U_{dc\_2} = 730 \text{ В}$$

$$U_{dc\_1} = 540 \text{ В}$$

Произведем расчет:

$$\text{по формуле (22) } n_{brake\_max} = 1200 \text{ [об/мин]} .$$



Вывод: Неучтённая, в выше проведенных расчетах, энергия торможения, запасенная в конденсаторах звена постоянного напряжения, соизмерима с энергией, рассеиваемой в тормозном резисторе. Наличие момента инерции нагрузки в расчете уменьшит значение максимальной скорости.

$$n_{brake\_max} \sim \frac{1}{\sqrt{\Sigma J}}$$

### Список литературы:

- Руководство по эксплуатации (РЭ В3.0) электропривода серии CSD-DH-NYS ООО «Балт-Систем» СПб 2013 год.
- INSTRUCTIONS: BRAKING UNIT, BRAKING RESISTOR UNIT, FOR VARISPEED-600 SERIES INVERTER, «Yaskawa», Япония Год: 2002.
- ТРЕХФАЗНЫЙ ПРИВОД ОСНОВЫ «KEB Antriebstechnik GmbH», Германия. Год: 1996.
- SP600 AC Drive Dynamic Braking Selection Guide «Rockwell Automation», США. Год: 2001
- Engineering braking chopper operation «Siemens», Германия . Год: 2008.