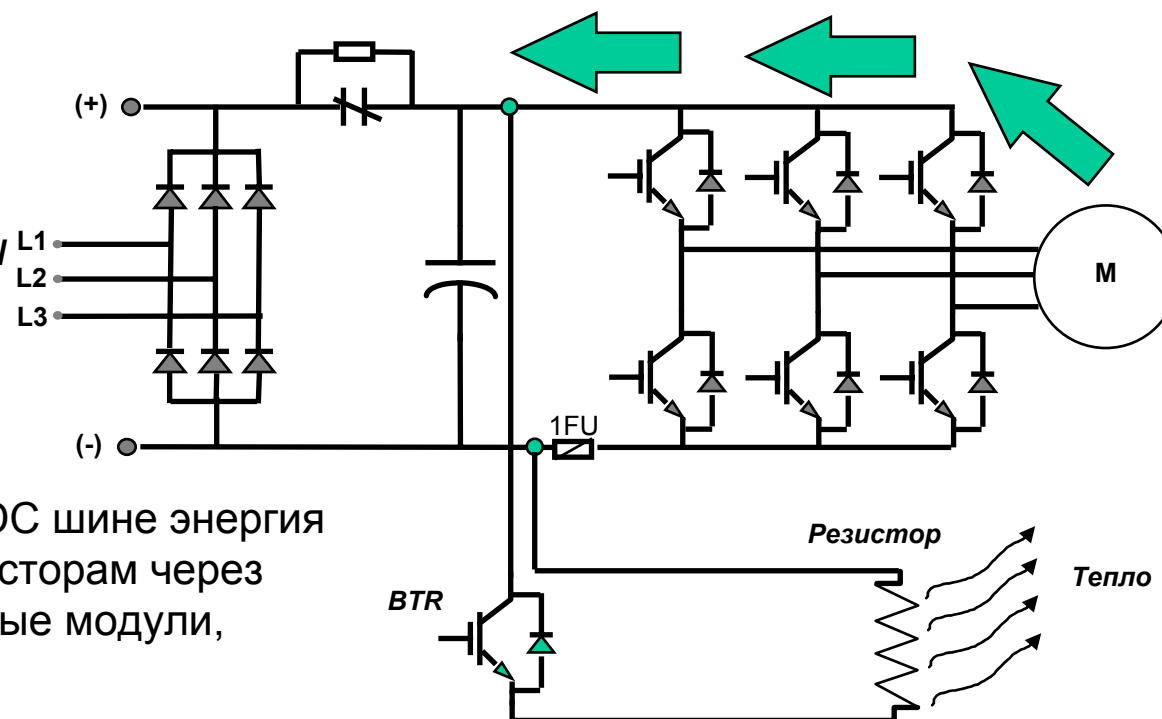


Динамическое торможение

■ **Динамическое торможение** – это процесс, в ходе которого происходит рекуперация энергии нагрузки и ее рассеивание в виде тепла на блоке тормозных резисторов

Для ограничения напряжения на DC шине энергия при рекуперации передается резисторам через тормозные прерыватели (тормозные модули, **BTR** на схеме).



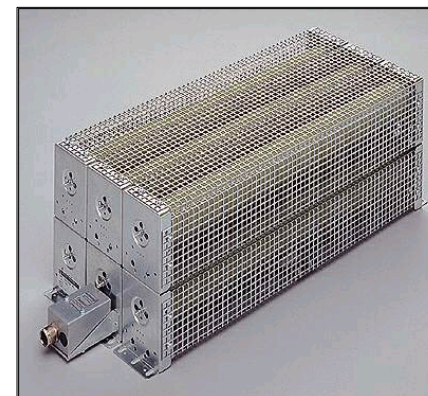
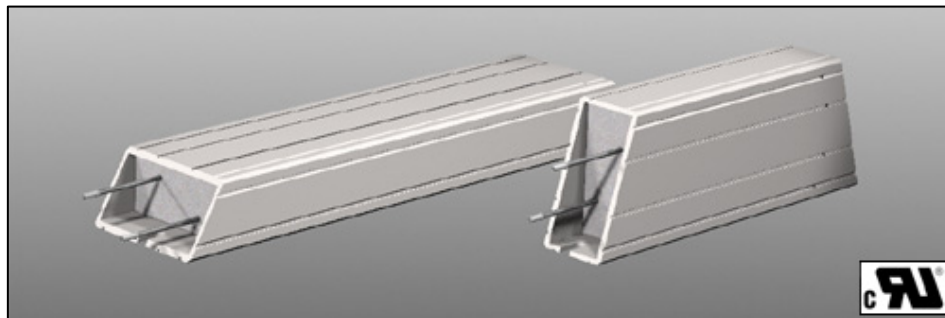
Тормозной модуль – электрическое переключающее устройство коммутирующее напряжение постоянного тока на резистор, на котором энергия рекуперации рассеивается в виде тепла. Тормозные модули включаются автоматически, когда напряжение на шине постоянного тока превышает установленный уровень, зависящий от номинального напряжения питания инвертора.

Динамическое торможение: тормозные резисторы

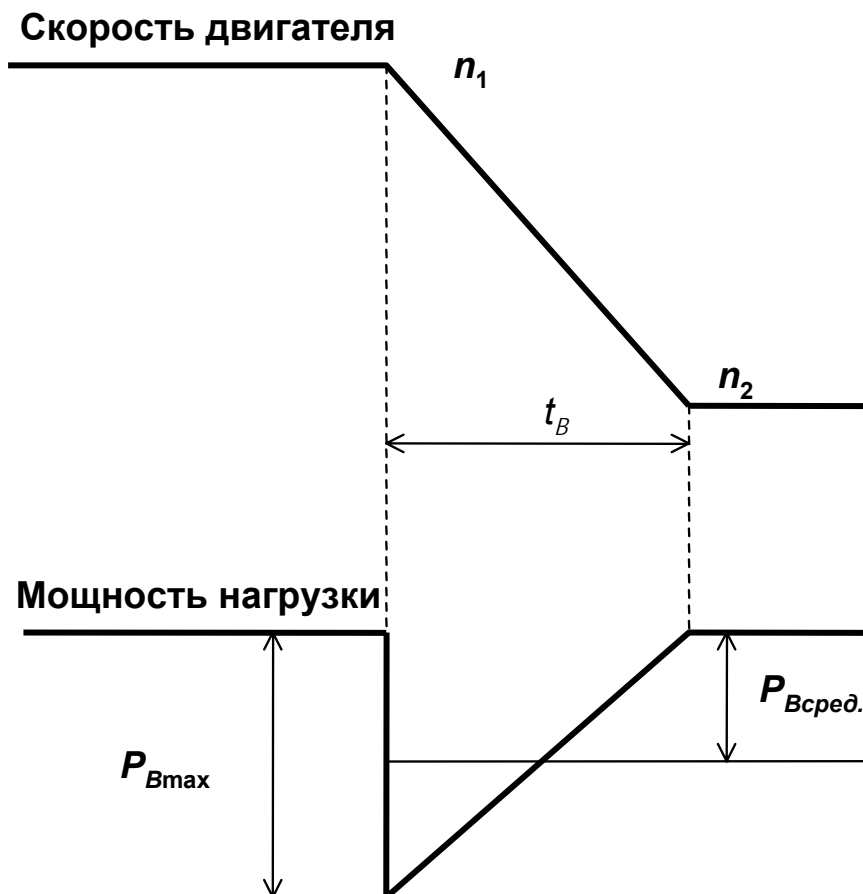
Резисторы требуются:

- всегда, когда нужно эффективное торможение.
- во избежание ошибки перенапряжения, когда мотор подключен к несбалансированной нагрузке.
- когда нагрузка «тянет» мотор (например, подъемник или лифт)
- в приложениях вертикального или горизонтального перемещения, когда точность позиционирования очень важна

В зависимости от инвертора, резисторы могут подключаться напрямую, либо через тормозной модуль.



Динамическое торможение: расчет тормозного резистора



Один вариант расчета:

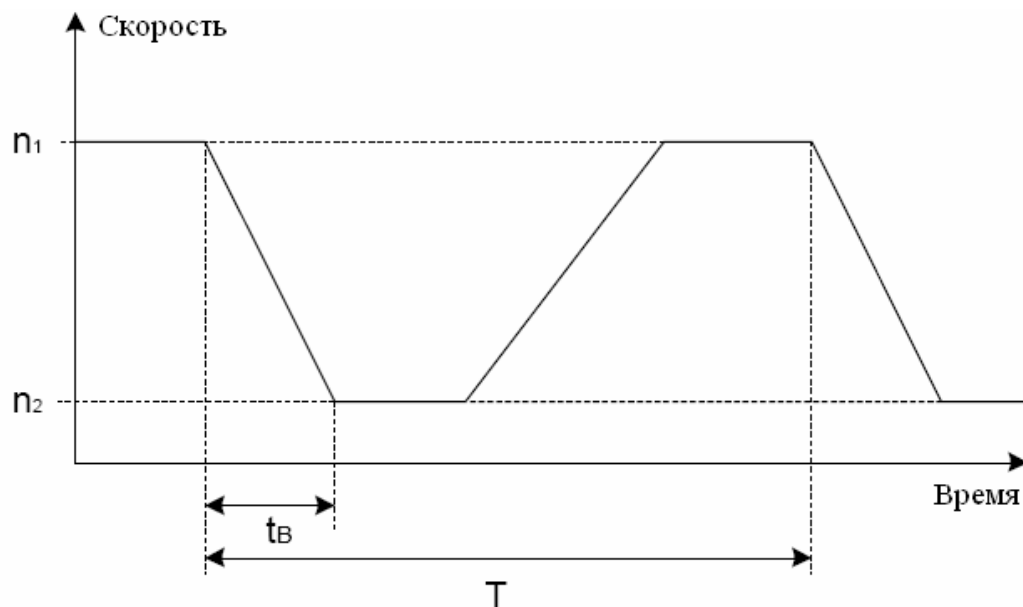
1. Рассчитываем максимальный момент торможения $M_{B\max}$. Данный момент зависит от начальной скорости замедления n_1 , конечной скорости замедления n_2 , желаемого времени замедления t_B и общего момента инерции системы J_{tot} (определяемого как сумма всех моментов инерции приведенных к валу двигателя).

$$M_{B\max} = \frac{J_{tot} \cdot (n_1 - n_2)}{9,55 \cdot t_B} - M_{load}$$

2. Определяем максимальную мощность торможения, $Вт$.

$$P_{B\max} = \frac{M_{B\max} \cdot (n_1 - n_2)}{9,55}$$

Динамическое торможение: расчет тормозного резистора



Значение периода включения тормозного резистора (тормозной цикл \equiv Продолжительность Включения) $ED \equiv ED$ есть отношение времени торможения t_B к времени цикла работы T (при $T < 120$ сек.):

$$ED = \frac{t_B}{T}$$

3.Находим максимальную электрическую мощность торможения P_{el} .

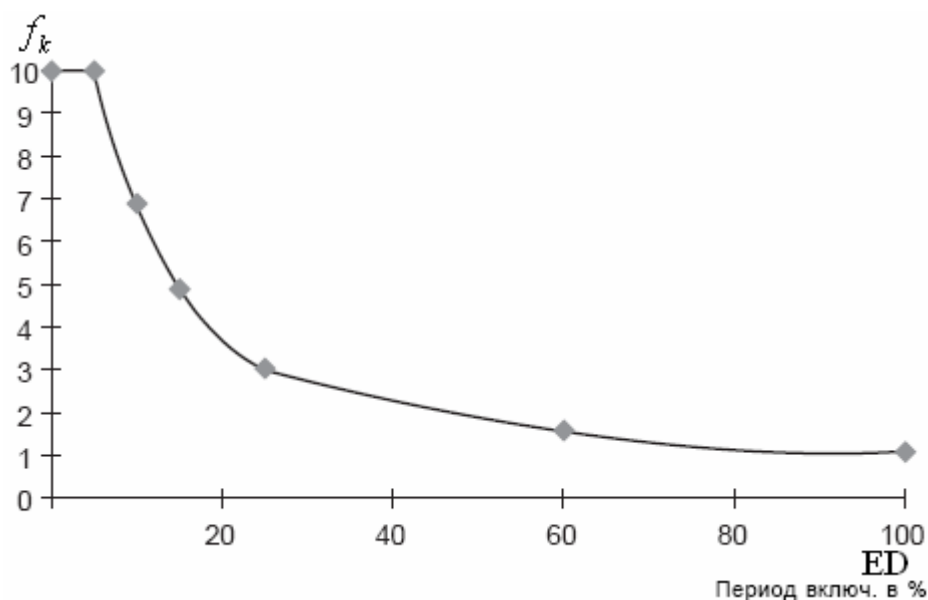
$$P_{el} = P_{B \max} - k \cdot P_{rMot} - (1 - \eta_{Gear}) \cdot P_{B \max}$$

Коэффициент уменьшения k зависит от номинальной мощности двигателя P_{rMot} :

P_{rMot} , кВт	k
до 1,5	0,25
от 2,2 до 4,0	0,20
от 5,5 до 11	0,15
от 15 до 45	0,08
выше 45	0,05

Если коэффициент полезного действия редуктора η_{Gear} не известен, его можно принять равным 1.

Динамическое торможение: расчет тормозного резистора



f_k – коэффициент зависящий от значения ED

Примечание: Если Вы приобретаете аксессуары через дистрибьюторов, то дистрибьюторы могут выбрать тормозные резисторы согласно прайс-листу, для **10% ED** для всех серий ПЧ резисторы и тормозные модули рассчитаны и сведены в таблицу.

4. Определяем максимально-допустимое значение тормозного сопротивления R_B .

$$R_B \leq \frac{U_B^2}{P_{el}}$$

Здесь U_B – напряжение на шине постоянного тока преобразователя частоты, численно равно для ПЧ класса 400В – **757В** +/-3%, для ПЧ класса 200В – **387В** +/-3%. Значение сопротивления выбираемого из стандартного ряда тормозных резисторов не должно быть больше чем рассчитанное значение R_B .

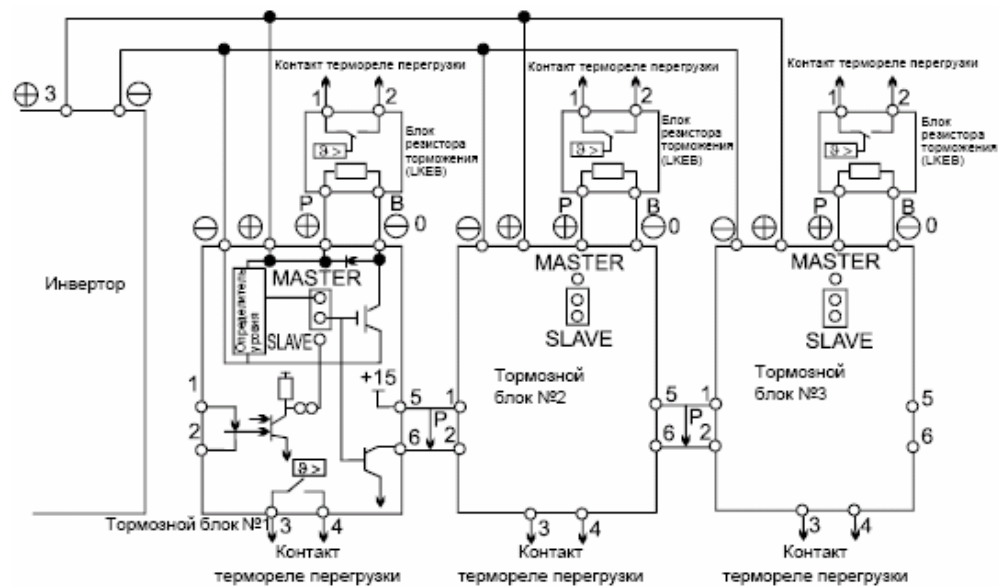
5. Рассчитаем номинальную мощность P_B тормозного резистора.

$$P_B = \frac{P_{el}}{f_k}$$

6. Выбор тормозного резистора осуществляется по значениям R_B , P_B и P_{el} (в качестве пиковой мощности)

Динамическое торможение: тормозные модули

Тормозные модули требуются при подключении резисторов.



Динамическое торможение: тормозные модули

Выбор тормозного модуля:

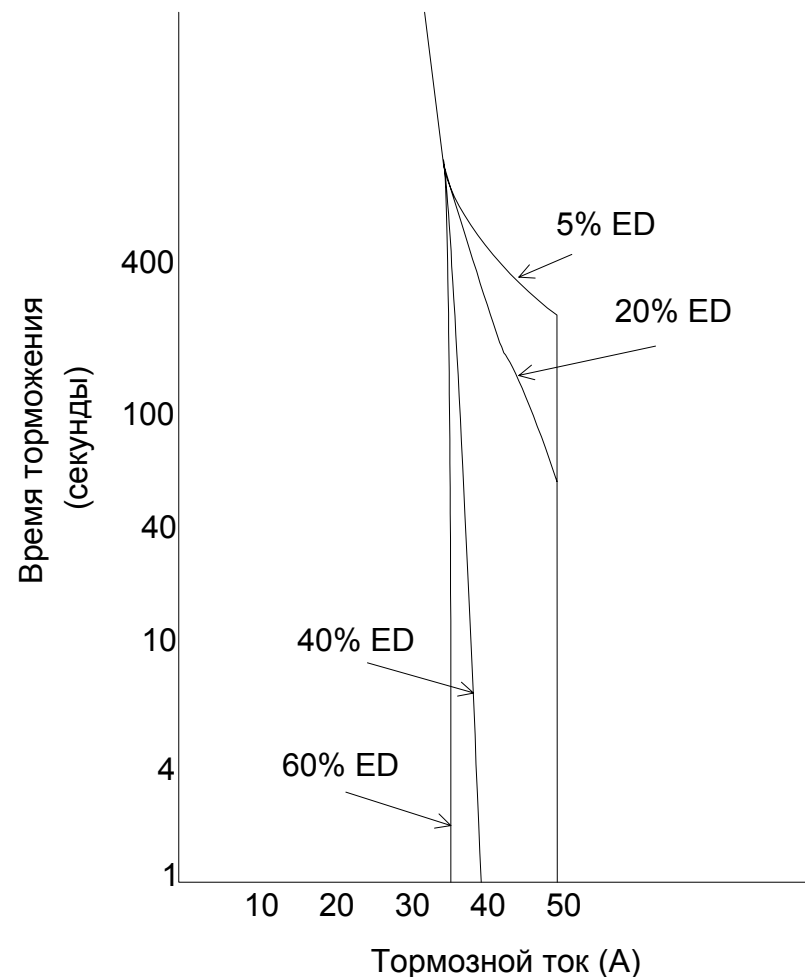
Для его выбора потребуется:

- период включения тормозного резистора **ED**,
- тормозной ток I_B ,
- время торможения t_B .

Тормозной ток I_B может быть рассчитан используя первоначальное напряжение торможения численно равное напряжению на шине постоянного тока U_B и значение сопротивления выбранного тормозного резистора

R_{Bsel} .

$$I_B = \frac{U_B}{R_{Bsel}}$$



Динамическое торможение: Пример расчета торм. резистора

Данные:

Мощность двигателя и ПЧ: 22 кВт

Номинальная скорость двигателя: 1420 об/мин

Номинальный момент: 142 Нм

Номинальное напряжение питания: 400 В

Тормозной момент: 120% от номинального момента

Время цикла: 30 сек.

Момент инерции нагрузки: 8 кгм²

Редуктора нет

Задание: Рассчитать значение мощности и сопротивления тормозного резистора.

Требуемое время торможения и значение тормозного цикла для обеспечения заданного момента торможения:

$$t_B = \frac{2\pi \cdot J \cdot n}{60 \cdot M_{B\max}} = \frac{2\pi \cdot 8\text{кгм}^2 \cdot 1420\text{об} / \text{мин}}{60 \cdot 1,2 \cdot 142\text{Нм}} = 7\text{сек.}$$

$$ED = \frac{t_B}{T} = \frac{7\text{сек}}{30\text{сек}} = 0,23 = 23\%$$

Динамическое торможение: Пример расчета торм. резистора

$$P_{B\max} = \frac{M_{B\max} \cdot (n_1 - n_2)}{9,55} = \frac{1,2 \cdot 142 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 1420 \text{ об / мин}}{9,55} = 25,34 \text{ кВт}$$

$$P_{el} = P_{B\max} - k \cdot P_{rMot} = 25,34 \text{ кВт} - 0,08 \cdot 22 \text{ кВт} = 23,6 \text{ кВт}$$

$$P_{elAve} = \frac{P_{el}}{2} = \frac{23,6 \text{ кВт}}{2} = 11,8 \text{ кВт}$$

$$R_B \leq \frac{U_B^2}{P_{el}} = \frac{(760 \text{ В})^2}{23,6 \text{ кВт}} = 24,5 \text{ Ом}$$

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} = \frac{760 \text{ В}}{200 \text{ Ом}} = 38 \text{ А}$$

$$t_{ch} = t_B \cdot \frac{P_{elAve}}{P_{elMax}} = t_B \cdot \frac{R_{Bsel} \cdot P_{elAve}}{U_B^2} = 7 \text{ сек} \cdot \frac{200 \text{ Ом} \cdot 11,8 \text{ кВт}}{(760 \text{ В})^2} = 2,9 \text{ сек}$$

Согласно перегрузочной способности тормозного модуля VFDB-4030 с временем торможения 2,9сек. и током торможения 38А, тормозной цикл 23% возможен.

Т.обр. для этого применения были выбраны VFDB-4030 и тормозной резистор 200Ом/12кВт.