

Тормозной модуль

Контроллер МСЗРНАС позволяет реализовать резистивное торможение. При превышении напряжения ЗПТ на 10% от номинального значения (при торможении двигатель начинает работать в генераторном режиме, генерируемая энергия накапливается на конденсаторе ЗПТ) контроллер будет подавать ШИМ с несущей частотой $f_{br\text{ШИМ}} = 5 \text{ кГц}$ на пин RBRAKE. Для реализации торможения необходимо использовать транзистор, который будет работать в ключевом режиме и «сливать» заряд с конденсатора ЗПТ через тормозной резистор. Такая схема показана на рисунке 3.34.

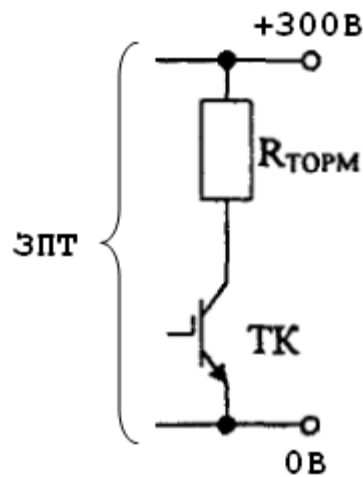


Рисунок 3.34 – Схема резистивного торможения

Тормозное сопротивление рассчитаем по [92], [55, с. 54], [48, с. 476].

Максимальное ускорение при торможении:

$$a = \frac{n_1 - n_2}{t_{br}} = \frac{6000 - 0}{2} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{с}^2},$$

где n_1, n_2 – частота вращения вала двигателя в начале и в конце
торможения, об/мин;

t_{br} – время торможения, с.

Такое ускорение торможения в данном случае допустимо по нормам механики двигателя и исполнительного механизма ($a \leq a_{\text{доп}}$), а также может быть обеспечено контроллером МСЗРНАС (поддерживает ускорение до 127 Гц).

Максимальное угловое ускорение при торможении:

$$\varepsilon_{br \max} = a \cdot \frac{2\pi}{60} = 3000 \cdot \frac{2 \cdot 3,142}{60} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Динамический момент при торможении:

$$M_{\text{д}} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 0,0061 \cdot 314,159 = 1,916 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя,

кг · м²; примем $J_{\Sigma} = 8 \cdot J_{\text{дв}} = 8 \cdot 0,00076 = 0,0061 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Максимальный тормозной момент:

$$M_{br\max} = M_d - M_c = 1,916 - 1,284 = 0,632 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где M_c – статический рабочий момент сопротивления; примем равным номинальному моменту: $M_c = M_n = 1,284 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Максимальная мощность при торможении:

$$P_{br\max} = M_{br\max} \cdot \frac{2\pi \cdot n_1}{60} = 0,632 \cdot \frac{2\pi \cdot 6000}{60} = 397 \text{ Вт}.$$

Коэффициент уменьшения для генераторного режима [55, табл. 1] выберем по таблице 2:

$$k = 0,25.$$

Таблица 2 – Таблица выбор коэффициента уменьшения мощности

Мощность двиг.		Коэффиц. k
до	1.5 кВт	0.25
2.2 ... 4	кВт	0.20
5.5 ... 11	кВт	0.15
15 ... 45	кВт	0.08
>	45 кВт	0.05

Электрическая мощность торможения (если < 0 , значит энергия в привод не возвращается и тормозной модуль не нужен) :

$$P_{\text{электр}} = P_{br \max} - k \cdot P_{\text{ном}} = 397 - 0,25 \cdot 370 = 305 \text{ Вт}.$$

Омическое сопротивление тормозного модуля:

$$R_{br} < \frac{U_{br}^2}{P_{\text{электр}}} = \frac{340^2}{305} < 379 \text{ Ом},$$

где U_{br} – напряжение срабатывания торможения, В;

$$\text{для МСЗРНАС } U_{br} = 1,1 \cdot U_{\text{ЗПТ ном}} = 309 \cdot 1,1 = 340 \text{ В}.$$

Из стандартных выбираем $R_{br} = 300 \text{ Ом}$. Тогда электрическая мощность пересчитается:

$$P_{\text{электр}} = \frac{U_{br}^2}{R} = \frac{340^2}{300} = 385,333 \text{ Вт}.$$

Время рабочего цикла 5 минут. По [55] для $t_{\text{ц}} > 120 \text{ с}$ принимаем время рабочего цикла:

$$t_{\text{ц}} = 120 \text{ с}.$$

Продолжительность включения тормозного модуля:

$$\text{ПВ}_{br} = \frac{t_{br}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{2}{120} \cdot 100\% = 1,67\%$$

По графику [55, рис. 51] определяют константу $f_{\text{к}}$. Этот график приведен на рисунке 3.35.

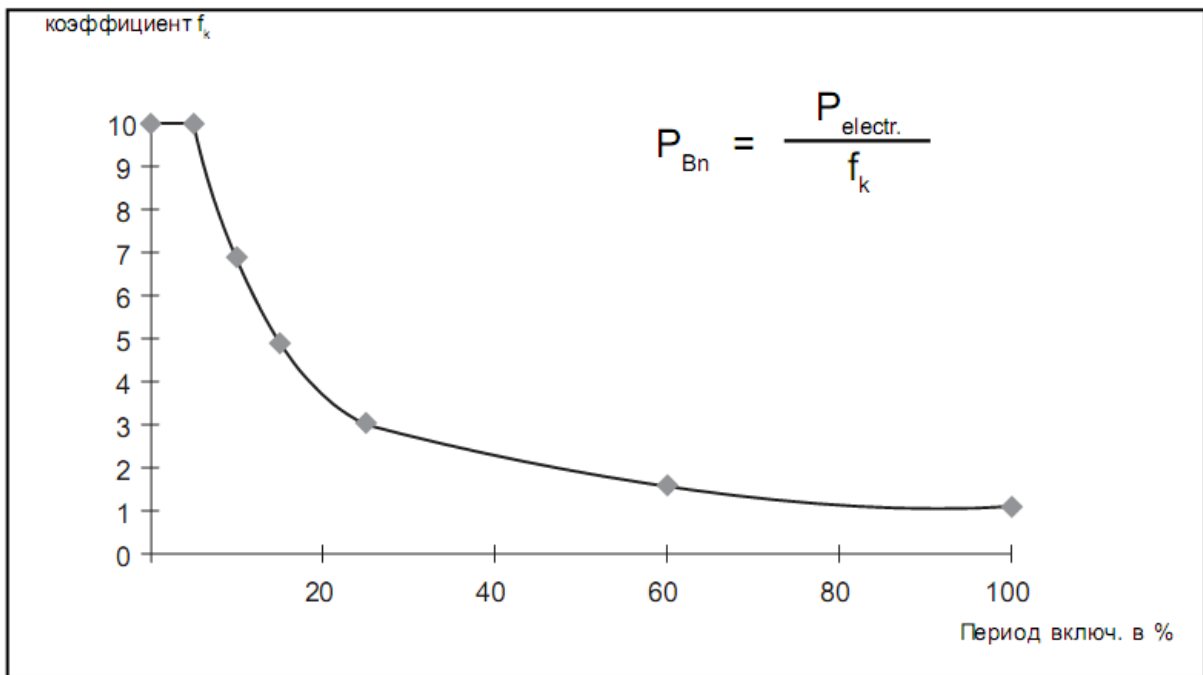


Рисунок 3.35 –Зависимость константы f_k от ПВ тормозного резистора

По графику на рисунке 3.35 определится константа f_k :

$$f_k = 10.$$

Номинальная мощность теплового рассеяния тормозного резистора:

$$P_{Rbr} = \frac{P_{\text{электр}}}{f_k} = \frac{385,333}{10} = 38,5 \text{ Вт.}$$

Тормозной резистор рассчитан; его сопротивление $R_{br} = 300 \text{ Ом}$, а номинальная мощность теплового рассеяния $P_{Rbr} = 38,5 \text{ Вт}$.

Стоит также заметить, что существует рекуперативное торможение с отдачей энергии торможения в сеть. Для этого применяется управляемый выпрямитель и модуль рекуперативного торможения. Но практика и расчеты показывают, что экономическая выгода таких систем торможения появляется при мощностях двигателей от 30...50 кВт.

Расчет тормозного сопротивления приведен для критических моментов торможения с довольно большой инерцией приводимого механизма. Поэтому в схеме примем резистор R77 доступной мощности 20 Вт на сопротивление 510 Ом.

Схема тормозного модуля показана на рисунке 3.36.

Выберем транзистор тормозного модуля.

Ток торможения:

$$I_{br} = P_{\text{элект}} / U_{br} = 385,333 / 340 = 1,133 \text{ А} .$$

Превышение напряжение может достигать:

$$U_{\text{ЗПГ кр}} = 400 \text{ В} .$$

Выберем транзистор по току и напряжению, на частоту

$$f_{br \max} = f_{br \text{ ШИМ}} \cdot 2 \cdot u_{\text{рег}} = 5000 \cdot 2 \cdot 100 = 1 \text{ МГц} ,$$

где $u_{\text{рег}}$ – макс. глубина регулирования; для минимальной скважности

ШИМ $\gamma_{br \text{ ШИМ min}} = 1\%$ глубина регулирования:

$$u_{\text{рег}} = \frac{1}{1\% / 100\%} = 100 .$$

Таким требованиям удовлетворяет MOSFET-транзистор **IRFP460**.

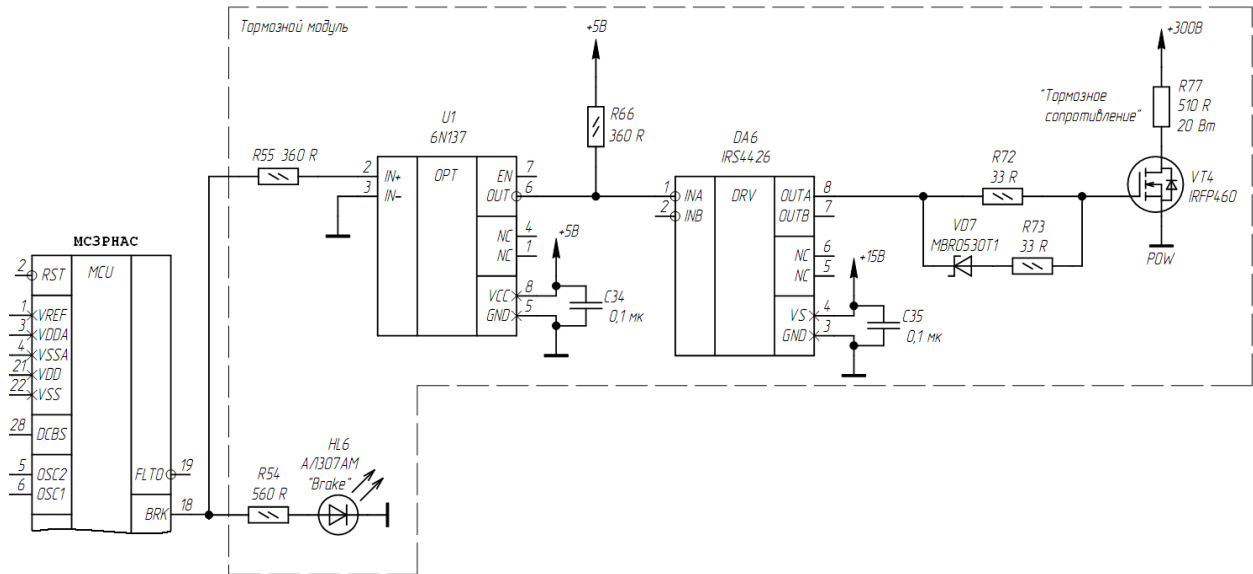


Рисунок 3.36 – Схема тормозного модуля

Для открытия транзистора на его затвор необходимо подать 15 В. В силу построения по КМОП-технологии контроллер MC3RNAS работает при напряжении 5 В, соответственно амплитуда ШИМ напряжения торможения будет тоже 5 В. Для преобразования уровня напряжения применим драйвер нижних ключей **IRS4426**.

Для быстрого закрытия транзистора в цепь затвора поставим резистор, шунтированный высокоскоростным диодом (в данном случае применен диод Шоттки **MBR0530T1**) – цепочка R72-VD7-R73.

Чтобы защитить пин торможения контроллера применим оптрон **6N137**. Номинальный ток передатчика-диода $I_{6N137} = 10 \text{ мА}$. При таком токе прямое падение напряжение составит $\Delta U_{6N137} = 1,4 \text{ В}$. Тогда при питании от контроллера 5 В необходим ограничивающий резистор сопротивлением

$$R_{55} = \frac{U_{\text{пит}} - \Delta U_{6N137}}{I_{6N137}} = \frac{5 - 1,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 360 \text{ Ом}.$$

Сопротивление нагрузки R66 выберем по графикам в паспорте на этот оптрон на максимальную скорость работы:

$$R_{66} = 360 \text{ Ом}.$$

Также применена индикация торможения на светодиоде HL6. В зависимости от скважности ШИМ светодиод будет гореть с разной яркостью, по которой можно судить о процессе торможения.