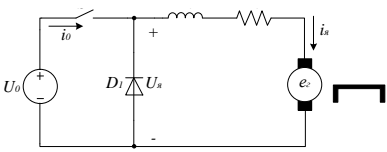
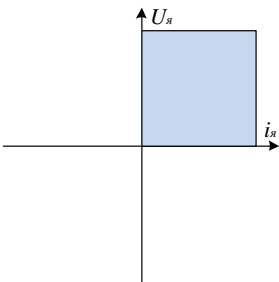
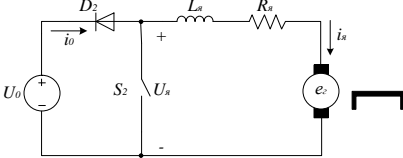
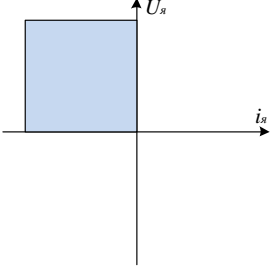
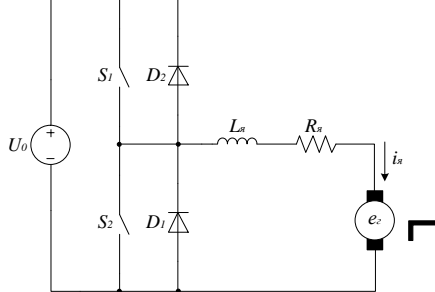
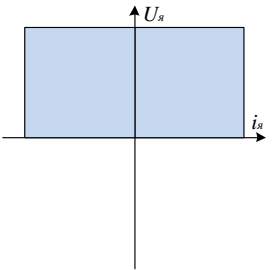


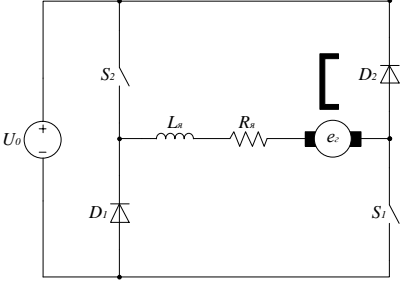
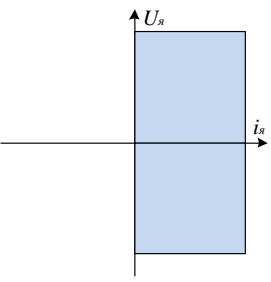
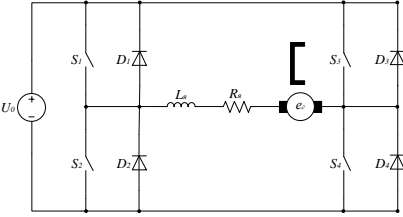
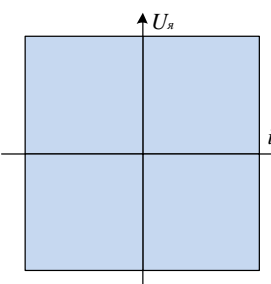
Коллекторный электропривод постоянного тока, управляемый чоппером

Чоппер постоянного тока – силовой электронный преобразователь постоянного тока в постоянный с принудительной коммутацией. Он используется для управления напряжением якоря в коллекторных электроприводах постоянного тока. Источниками постоянного тока, для питания чопперов являются батареи или диодные выпрямители с выходными фильтрами, которые типичны для городского электротранспорта или маломощных коллекторных электроприводов постоянного тока. Тиристоры, биполярные силовые транзисторы, MOSFET-ы или IGBT-транзисторы применяются в чопперах постоянного тока.

Основные схемы приведены в таблице 6.1 и они соответствуют работе в одном, двух или четырёх квадрантах.

Таблица 6.1 - Схемы однофазного чоппера для коллекторного электропривода постоянного тока

	Тип	Схема чоппера	Зависимость $e_{я}=f(i_{я})$	Принцип действия
1	Чоппер, для управления в первом квадранте (понижающий)			$U_{я} = U_0$ если S_1 -открыт $U_{я} = 0$ если S_1 -закрыт и D_1 -открыт
2	Чоппер, для управления во втором квадранте, генерирующий (повышающий)			$U_{я} = 0$ если S_2 -открыт $U_{я} = U_0$ если S_2 -закрыт и D_2 -открыт
3	Чоппер, для управления в двух квадрантах (1 и 2)			$e_{я} = e_0$ если S_1 или D_2 открыты $e_{я} = -e_0$ если S_2 или D_1 открыты $i_{я} > 0$ если S_1 или D_1 открыты $i_{я} < 0$ если S_2 или D_2

4	Чоппер, для управления в двух квадрантах (1 и 4)			<p>открыты</p> <p>$U_{я} = U_0$ если S_1 и S_2 открыты</p> <p>$U_{я} = -U_0$ если S_1 и S_2 закрыты и D_1 и D_2 открыты</p>
5	Чоппер, для управления в четырёх квадрантах			<p>S_4 открыт и S_3 закрыт, управление через S_1 и S_2.</p> <p>$U_{я} > 0, i_{я}$ – реверсивны й</p> <p>S_2 открыт и S_1 закрыт, управление через S_3 и S_4.</p> <p>$U_{я} < 0, i_{я}$ – реверсивны й</p>

Чоппер, для управления в первом квадранте (рис. 6.1) управляется включением силового ключа на время t_{on} , когда напряжение питания подключено к нагрузке. На протяжении интервала t_{off} , когда главный ключ выключен, ток нагрузки течёт через диод обратного тока D_1 . Выходное напряжение показано на рис. 6.1.

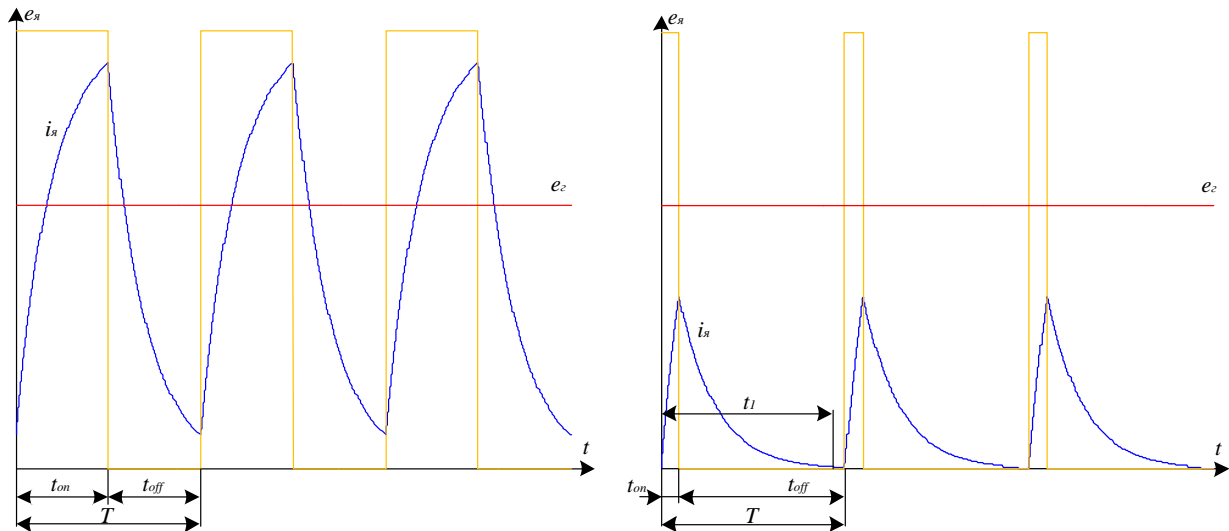


Рисунок 6.1 - Управление чоппером в первом квадранте

а) режим непрерывного тока б) режим прерывистого тока

Среднее напряжение U_{cp} равно:

$$U_{cp} = e_z \cdot \frac{t_{on}}{T} \leq U_0 \quad (6.1)$$

Предпочтительно применять управление с постоянной частотой (постоянным периодом T) с целью улучшения работы входного фильтра и уменьшения вероятности возникновения режима прерывистых токов (рис. 6.1б).

Уравнение напряжения для постоянной скорости:

$$U_0 = R_y \cdot i_y + L_y \cdot \frac{di_y}{dt} + e_z; \quad e_z = K_y \cdot \phi \cdot n \quad \text{для } 0 \leq t \leq t_{on} \quad (6.2)$$

$$0 = R_y \cdot i_y + L_y \cdot \frac{di_y}{dt} + e_z; \quad t_{on} \leq t \leq t_1; \quad i_y(t_1) = 0, \quad t_1 < T$$

для режима прерывистых токов (6.3)

В режиме непрерывного тока $t_1 = T$ и $i_y(T) = i_y(0) \neq 0$ для установившегося режима.

Для коллекторного двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением:

$$e_z = K_{yu} \cdot i_y \cdot n + K_{ocm} \cdot n \quad (6.4)$$

В K_{ocm} приводится остаточный магнитный поток, при рассмотрении линеаризованной кривой намагничивания электрической машины.

Среднее выходное напряжение для режима прерывистых токов может быть определено замечанием, что напряжение двигателя принимает нулевое значение:

$$U_{cp} = U_0 \cdot \frac{t_{on}}{T} + e_z \cdot \frac{T - t_1}{T}; \quad t_1 \leq T \quad (6.5)$$

Выражение выходного тока получено из (6.2)-(6.3):

$$i_{я} = A \cdot e^{-t \frac{R_{я}}{L_{я}}} + \frac{U_0 - e_{э}}{R_{я}}; \text{ для } 0 \leq t \leq t_{on} \quad (6.6)$$

$$i'_{я} = A' \cdot e^{-(t-t_{on}) \frac{R_{я}}{L_{я}}} - \frac{e_{э}}{R_{я}}; \text{ для } 0 \leq t \leq t_1 \quad \begin{cases} t_1 = T \text{ для режима непрерывного тока} \\ t_1 < T \text{ для режима прерывистых токов} \end{cases} \quad (6.7)$$

Продолжительное условие:

$$i_{я}(t_{on}) = i'_{я}(t_{on}) \quad (6.8)$$

Средний выходной ток:

$$i_{cp} = \frac{\int_0^{t_{on}} i_{я} dt + \int_{t_{on}}^{t_1} i'_{я} dt}{T} \quad (6.9)$$

Для чоппера, для управления во втором квадранте (Таблица 6.1 – 2) ЭДС $e_{э}$ двигателя, когда S_2 замкнут, вызывает возрастание тока на индуктивности $L_{я}$:

$$R_{я} \cdot i_{я} + L_{я} \cdot \frac{di_{я}}{dt} = -e_{э}; \text{ для } 0 \leq t \leq t_{on}; \quad i_{я}(0) = 0 \quad (6.10)$$

Когда S_2 разомкнут, энергия, накопленная в индуктивности, возвращается в источник, пока $U_0 > U_{я}$:

$$U_0 - e_{э} = -R_{я} \cdot i'_{я} + L_{я} \cdot \frac{di'_{я}}{dt}; \quad t_{on} \leq t \leq T; \quad (6.11)$$

с решением:

$$i_{я} = -\frac{e_{э}}{R_{я}} + B \cdot e^{-t \frac{R_{я}}{L_{я}}} + i_{я0}; \quad (6.12)$$

$$i'_{я} = \frac{U_0 - e_{э}}{R_{я}} + B' \cdot e^{-(t-t_{on}) \frac{R_{я}}{L_{я}}}; \quad (6.13)$$

Конечные условия:

$$i_{я}(t_{on}) = i'_{я}(t_{on}), \quad i_{я}(0) = i_{я0} \text{ и } i'_{я}(T) = i_{я0} \quad (6.14)$$

Таким образом, возможно при $e_{э} < U_0$ возвращать энергию обратно с двигателя, используя индуктивность $L_{я}$ в качестве накопителя энергии (рис. 6.2).

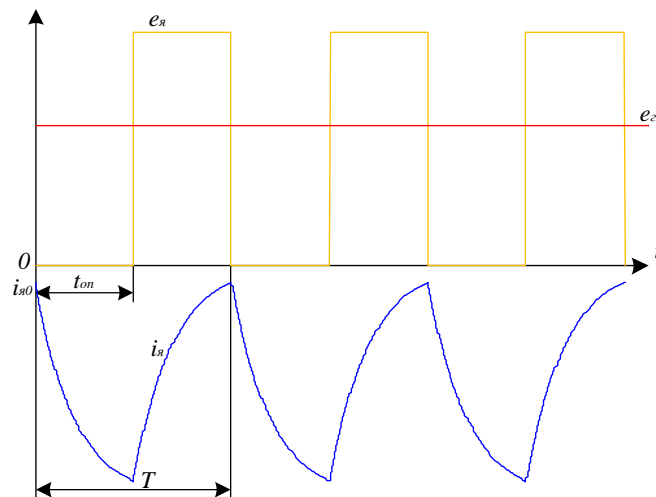


Рисунок 6.2 - Чоппер, для управления во втором квадранте

Чоппер, для управления в двух квадрантах (табл. 6.1 – 3,4) это комбинация чопперов, для работы в первом и втором квадрантах. Подобно, чопперы, для управления в двух квадрантах объединены в один для получения четырёхквadrантного чоппера.

Так как чоппер это ключ, следовательно ток источника прерывается (рис. 6.3). Это приводит к увеличению необходимой пиковой мощности источника. Также, ток источника имеет гармоники, которые порождают пульсации напряжения, наложение сигналов и прочее.

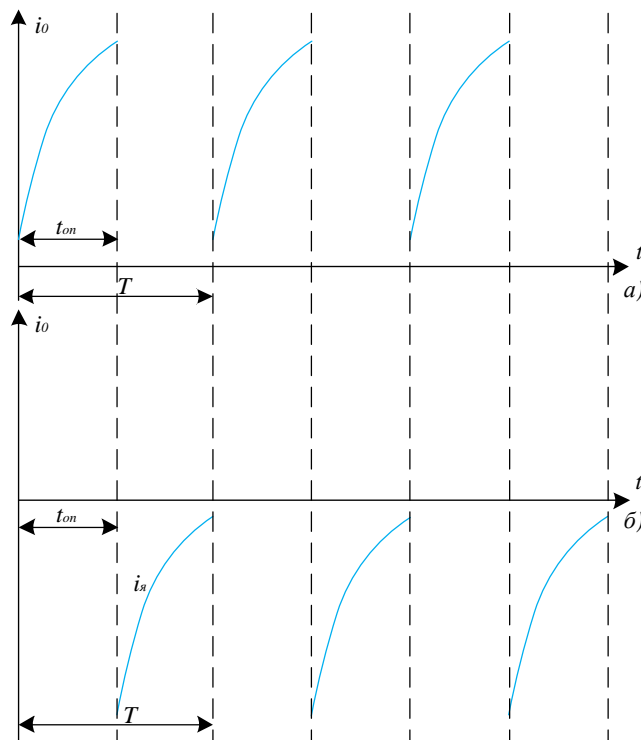


Рисунок 6.3 - Форма кривых тока

а) работа в первом квадранте б) работа во втором квадранте

Входной LC-фильтр (рис. 6.4) обеспечивает протекание пульсирующего тока так, что только средний ток потребляется из источника.

Тогда n -ая гармоника тока i_n в источнике (рис. 6.4 – б):

$$i_n = \frac{X_C / n}{(n \cdot X_L - X_C / n)} \cdot i_{sn} = \frac{i_{sn}}{(n \cdot f_n / f_p)^2 - 1}$$

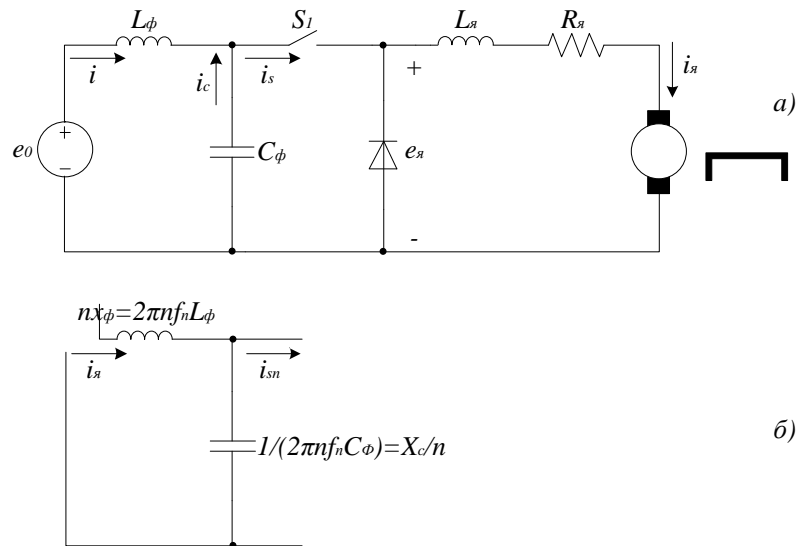


Рисунок 6.4 - Чоппер, для управления в первом квадранте с LC входным фильтром

а) базовая цепь б) эквивалентная цепь для n -ой гармоники

где f_n частота пульсаций ($f_n = 1/T$) и f_p резонансная частота фильтра

($f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$). Чтобы избежать резонанса $f_n \geq (2-3) \cdot f_p$.