

Процессы коммутации трехфазных инверторных схем могут быть частично сведены к процессам коммутации однофазных инверторов. Применение теории к таким случаям будет приведено в некоторых задачах.

Область применения. В инверторах нет движущихся частей. Они быстро и легко регулируются. Все это обеспечивает им широкое и многообразное применение.

Инверторы могут с успехом применяться в качестве дополнительных источников энергии у ответственных потребителей переменного тока (телефонные станции, системы ультракоротковолновой связи, железнодорожное оборудование сигнализации и защиты и т. д.). В этих случаях инверторы предназначаются для подачи энергии переменного тока с частотой сети либо с какой-то другой частотой.

В настоящее время расширяется область применения инверторов с изменяемой частотой. Такие инверторы используются, например, для питания индукционных печей в металлургии. Инверторы с регулируемой выходной частотой используются для питания асинхронных двигателей переменного тока. Сочетание инвертора с двигателем дает возможность иметь надежные и легко регулируемые электроприводы переменного тока.

5.2. ЗАДАЧИ ПО АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРАМ

Задача 5.1. В схеме идеального однофазного инвертора (рис. 5.15) тиристоры заменены соединенными последовательно диодами и ключами. Это позволяет не рассматривать коммутационные емкость C_K и индуктивность L_K . Нагрузкой инвертора является реактор с индуктивностью L . Построить кривые токов i_d , i , i_{d1} , i_{d2} , i_{d3} , i_{d4} , i_{T1} , i_{T2} , i_{T3} , i_{T4} .

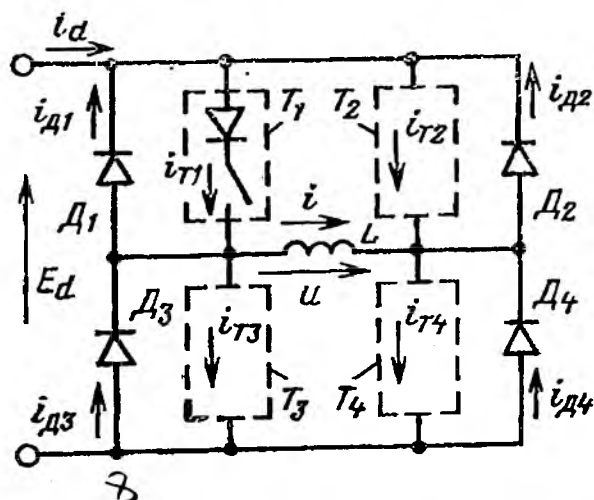


Рис. 5.15. Схема идеального однофазного мостового инвертора (задача 5.1).

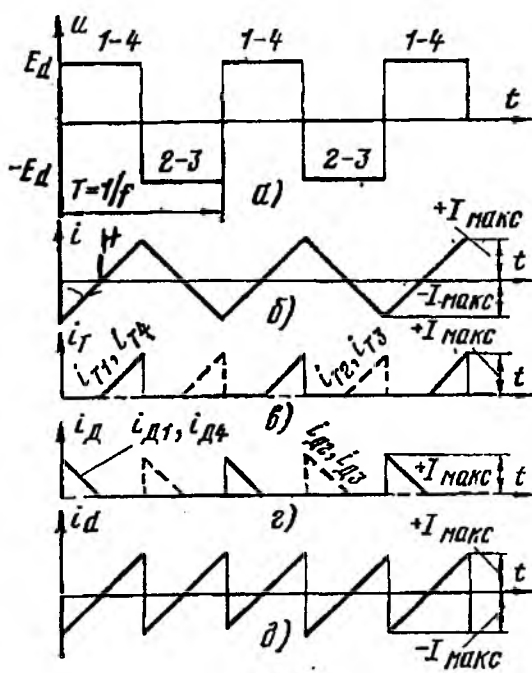


Рис. 5.16. Диаграммы характерных величин в схеме на рис. 5.15.

i_{T2} , i_{T3} , i_{T4} и напряжения u и вычислить среднее значение тока тиристора $I_{T.cр}$ и среднее значение тока диода $I_{D.cр}$, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц.

Решение. Поскольку ток нагрузки обязательно протекает либо через включенные ключи, либо через обратные диоды, присоединенные встречно-параллельно ключам, включенные ключи определяют значение и полярность напряжения u . Соответственно напряжение u будет периодическим напряжением с прямоугольной формой кривой и амплитудой E_d (рис. 5.16,а). Ток i изменяется со скоростью

$$\frac{di}{dt} = \pm \frac{E_d}{L}.$$

Допуская, что на практике цепь всегда имеет небольшое активное сопротивление, будем считать среднее значение тока нагрузки в квазистационарном состоянии равным нулю (рис. 5.16,б). Ток i

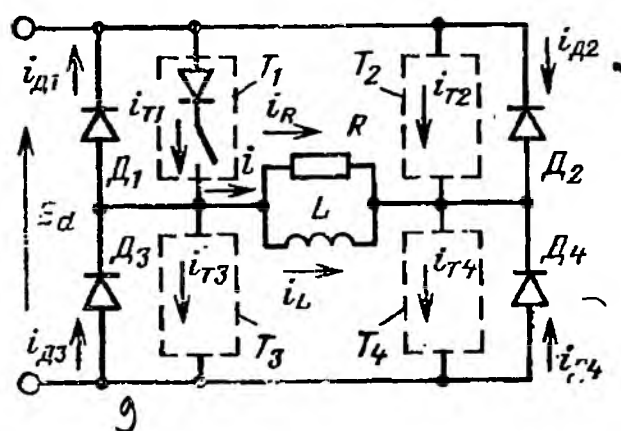


Рис. 5.17. Схема идеального однофазного мостового инвертора (задача 5.2).

пропускается попеременно тиристорами и обратными диодами (рис. 5.16,в и 5.16,г). Ток, потребляемый от источника, показан на рис. 5.16,д. В инверторе и нагрузке нет потребления энергии; возникает колебание энергий между источником и нагрузкой, как это бывает в случае, когда индуктивность присоединена к сети синусоидального напряжения. Из рис. 5.16 видно, что среднее значение тока тиристора равно среднему значению тока диода и что их можно вычислить следующим образом:

$$I_{T.cр} = I_{D.cр} = \frac{1}{2} \frac{T}{4} I_m \frac{1}{T} = \frac{I_{\max}}{8},$$

и поскольку

$$I_{\max} = \frac{di}{dt} \frac{T}{4} = \frac{E_d}{L} \frac{T}{4} = \frac{10}{10^{-3}} \frac{0,01}{4} = 25 \text{ А},$$

то

$$I_{T.cр} = I_{D.cр} = 25/8 = 3,125 \text{ А}.$$

Задача 5.2. На рис. 5.17 показана схема однофазного инвертора, в которой тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из параллельно соединенных резистора и реактора. Построить кривые токов i_d , i , i_{d1} , i_{d2} , i_{d3} , i_{d4} , i_{T1} , i_{T2} , i_{T3} , i_{T4} и напряжения u и найти средние значения токов тиристоров и диодов, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и а) $R = 1$ Ом, б) $R = 0,4$ Ом, в) $R = 0,1$ Ом.

Решение. Подобно тому, как это было в задаче 5.1, напряжение u представляет собой периодическое напряжение с прямоугольной формой кривой. Рассматривая токи соединенных параллельно ветвей нагрузки, видим, что ток через индуктивность L

имеет ту же форму, что и ток в схеме на рис. 5.1. Его амплитудное значение может быть вычислено аналогичным способом, т. е.

$$I_{L\text{макс}} = \frac{E_d}{4fL} = \frac{10}{4 \cdot 100 \cdot 10^{-3}} = 25 \text{ A.}$$

Ток в цепи активного сопротивления совпадает по форме с напряжением u , а его амплитуда в трех случаях будет:

$$\text{а) } I_{R\text{макс}} = \frac{E_d}{R} = \frac{10}{1} = 10 \text{ A;}$$

$$\text{б) } I_{R\text{макс}} = \frac{10}{0,4} = 25 \text{ A;}$$

$$\text{в) } I_{R\text{макс}} = \frac{10}{0,1} = 100 \text{ A.}$$

Результирующий ток $i = i_R + i_L$ показан для всех трех случаев на рис. 5.18,б.

С уменьшением активного сопротивления через индуктивность проходит все меньшая часть общего тока, увеличивается интервал проводимости тиристоров (рис. 5.18,в), уменьшается интервал проводимости обратных диодов и сводится к нулю в случаях «б» и «в» (рис. 5.18,г). Среднее значение тока, потребляемого от источника, уже не равно нулю (рис. 5.18,г). Средние значения токов тиристоров и диодов для трех рассматриваемых случаев рассчитываются следующим образом:

а) время открытого состояния тиристоров

$$t_1 = \frac{I_{L\text{макс}} + I_{R\text{макс}}}{\frac{di_L}{dt}} = \frac{35}{10} 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ с;}$$

средние значения токов тиристоров и диодов

$$I_{T,\text{ср}} = \frac{1}{2} t_1 (I_{L\text{макс}} + I_{R\text{макс}}) \frac{1}{T} =$$

$$= \frac{1}{2} 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 35 \frac{1}{10} 10^3 = 6,125 \text{ A;}$$

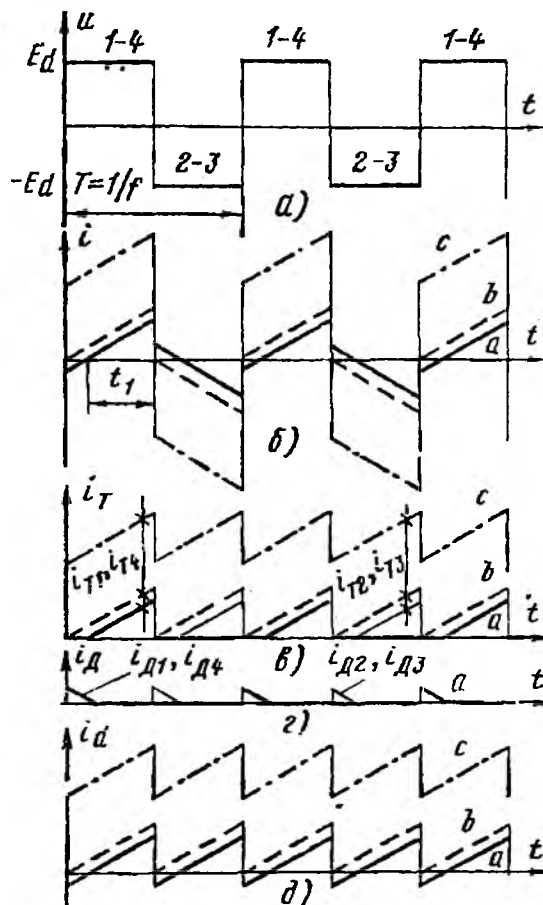


Рис. 5.18. Диаграммы характерных величин в схеме на рис. 5.17.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{E_d}{L}$$

$$E_d = 10 \text{ В}$$

$$L = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$I_{д.ср} = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} - t_1 \right) (I_{L\max} - I_{R\max}) \frac{1}{T} =$$

$$= \frac{1}{2} (5 - 3,5) 10^{-3} 15 \frac{1}{10} 10^3 = 1,125 \text{ A};$$

$$\text{б) } t_1 = \frac{T}{2};$$

$$I_{т.ср} = \frac{1}{2} (I_{L\max} + I_{R\max}) \frac{T}{2} \frac{1}{T} = \frac{1}{2} (25 + 25) \frac{1}{2} = 12,5 \text{ A};$$

$$I_{д.ср} = 0;$$

$$\text{в) } t_1 = \frac{T}{2};$$

$$I_{т.ср} = \frac{1}{2} [(I_{R\max} - I_{L\max}) + (I_{R\max} + I_{L\max})] \frac{T}{2} \frac{1}{T} =$$

$$= \frac{1}{2} [(50 - 23) + (50 + 25)] \frac{1}{2} = 50 \text{ A};$$

$$I_{д.ср} = 0.$$

Задача 5.3. На рис. 5.19 показана схема идеального однофазного инвертора, в которой тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из активного сопротивления R и индуктивности L , соединенных последовательно. Построить кривые токов i_d , i , $i_{д1}$, $i_{д2}$, $i_{д3}$, $i_{д4}$, $i_{т1}$, $i_{т2}$, $i_{т3}$, $i_{т4}$ и напряжения u и вычислить средние значения токов тиристоров и диодов, если $E_d = 10 \text{ В}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $R = 0,4 \text{ Ом}$ и $f = 100 \text{ Гц}$.

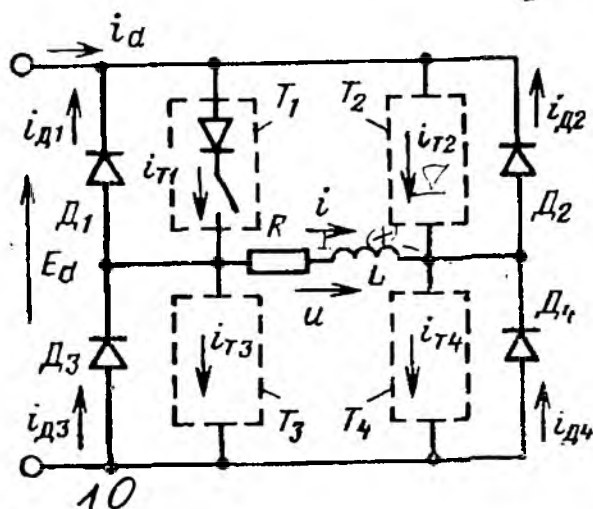


Рис. 5.19. Схема идеального однофазного мостового инвертора (задача 5.3).

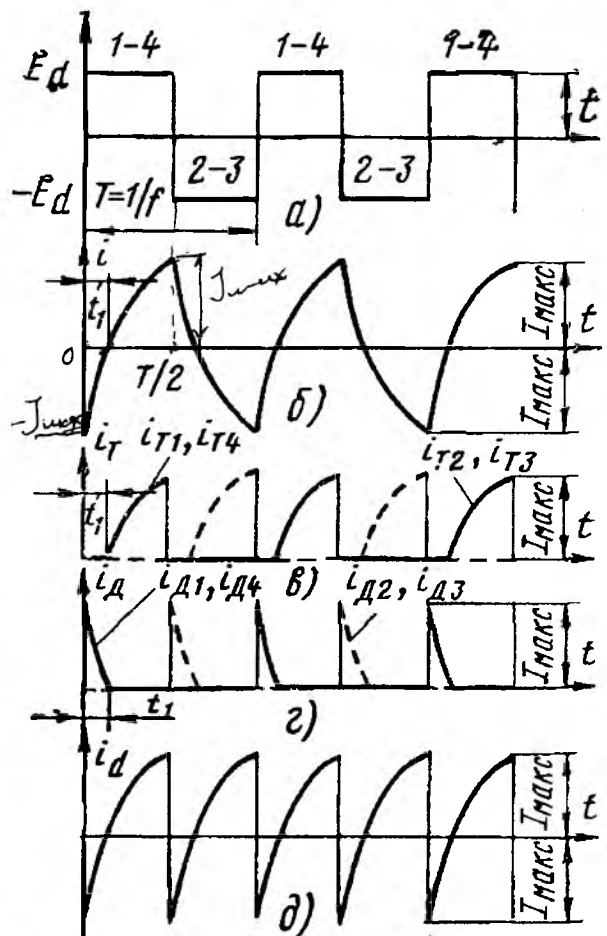


Рис. 5.20. Диаграммы характерных величин в схеме на рис. 5.19.

Решение. Подобно тому как это было в задаче 5.1, напряжение u представляет собой периодическое напряжение с прямоугольной формой кривой (рис. 5.20,а). В установившемся режиме ток нагрузки имеет форму периодической кривой с амплитудами $I_{\max}$ в моменты $t=0$ и $t=T/2$.

Форма кривой тока описывается дифференциальным уравнением

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E_d$$

с граничными условиями

$$i = -I_{\max} \text{ при } t=0 \text{ и } i = I_{\max} \text{ при } t=T/2.$$

Решая дифференциальное уравнение, получаем следующую функцию для интервала $0 \leq t \leq T/2$ (рис. 5.20,б):

$$i(t) = \left(-I_{\max} \frac{E_d}{R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{E_d}{R},$$

где $\tau = L/R$.

Подставляя $t=0$ и $i = -I_{\max}$, получаем:

$$I_{\max} = \frac{E_d}{R} \frac{1 - e^{-T/2\tau}}{1 + e^{-T/2\tau}}.$$

В соответствии с данными задачи при

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10^{-3}}{0,4} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

максимальное значение тока равно:

$$I_{\max} = \frac{10}{0,4} \frac{1 - e^{-2}}{1 + e^{-2}} = 16 \text{ А.}$$

Условие $i(t_1) = 0$ определяет длительность проводящего состояния диодов:

$$t_1 = -\tau \ln \frac{\frac{E_d}{R}}{\frac{E_d}{R} - I_0} = -2,5 \cdot 10^{-3} \ln \frac{10/0,4}{\frac{10}{0,4} + 16} = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Среднее значение тока диода

$$\begin{aligned} I_{\text{д.ср}} &= -\frac{1}{T} \int_0^{t_1} i dt = -\frac{E_d}{R} \frac{t_1}{T} - \\ &- \left(-I_{\max} - \frac{E_d}{R} \right) \frac{\tau}{T} (1 - e^{-t_1/\tau}) = -\frac{10}{0,4} \frac{1,24 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} - \\ &- \left(-16 - \frac{10}{0,4} \right) \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} (1 - e^{-1,24/10}) = 0,9 \text{ А.} \end{aligned}$$

$y' + p(x)y = q(x)$
 где $p = p(x)$
 $q = q(x)$
 мин. зап. $y_0 = 0$
 нач. условие
 $y = e^{-\int p dx} \left[\int q e^{\int p dx} dx + C \right]$

Среднее значение тока тиристора

$$I_{T.c.p.} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{T/2} i dt = \frac{E_d}{R} \left(\frac{T}{2} - t_1 \right) \frac{1}{T} + \left(-I_{\max} - \frac{E_d}{R} \right) -$$

$$- \frac{\tau}{T} (e^{-T/2} - e^{-t_1/\tau}) = \frac{10}{0,4} \left(\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2} - 1,24 \cdot 10^{-3} \right) \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} +$$

$$+ \left(-16 - \frac{10}{0,4} \right) \left(\frac{-2,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \right) (e^{-10/(2 \cdot 2,5)} - e^{-1,24/2,5}) = 4,551 \text{ А.}$$

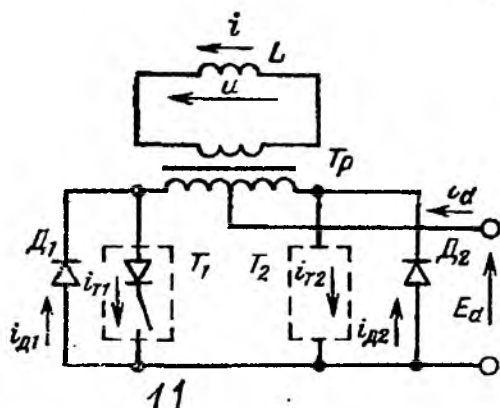


Рис. 5.21. Схема идеального однофазного инвертора (задача 5.4).

Задача (5.4). В схеме идеального однофазного инвертора, представленной на рис. 5.21, тиристоры замснены диодами и ключами, соединенными последовательно. Инвертор питает чисто индуктивную нагрузку через трансформатор. Построить кривые токов i_d , i , i_{d1} , i_{d2} , i_{T1} , i_{T2} и напряжения u и найти средние значения токов диодов и тиристоров, если $E_d = 10 \text{ В}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $f = 100 \text{ Гц}$. Трансформатор идеальный, его коэффициент трансформации, отнесенный к одной полуобмотке, равен 1:1.

Решение. Подобно тому как это было в задаче 5.1, напряжение u на нагрузке будет периодическим с прямоугольной формой кривой (рис. 5.22, а). Следовательно, кривая тока i будет такой же, как и в задаче 5.1. Так как исходные данные в общих задачах одинаковые, то будут совпадать и численные значения.

Средние значения токов:

$$I_{d.c.p.} = I_{T.c.p.} = 3,125 \text{ А;}$$

$$I_{cp} = 0.$$

Задача (5.5). В идеализированной схеме однофазного инвертора, показанной на рис. 5.23, тиристоры заменены ключами и диодами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из индуктивности L . Построить кривые токов i_{d1} , i_{d2} , i , i_{d1} , i_{d2} , i_{T1} , i_{T2} и напряжения u и вычислить средние значения

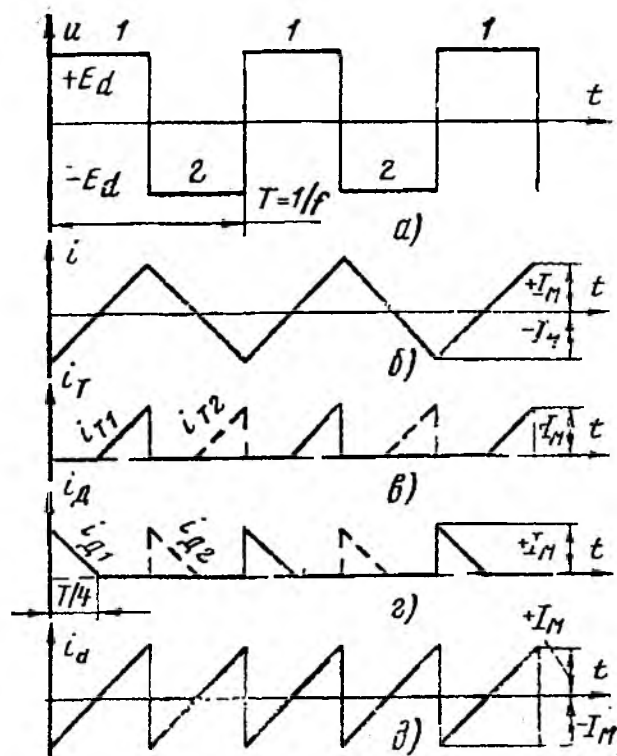


Рис. 5.22. Диаграммы характерных величин в схеме на рис. 5.21.