

<p>Two three-phase six-pulse cycloconverters are shown in Fig. 1.34. The cycloconverter with isolated phase loads in Fig. 1.34a is supplied from a single three-phase source. If the loads are interconnected, as in Fig. 1.34b, individual phases of the cycloconverter must be fed from separate sources, such as isolated secondary windings of the supply transformer. Practical</p> <p>cycloconverters are invariably high-power converters, typically used in adjustable-speed synchronous motor drives requiring sustained low-speed operation.</p> <p>The matrix converter, shown in Fig. 1.35 in the three-phase to three-phase version, constitutes a network of bidirectional power switches, such as those in Fig. 1.30, connected between</p>	<p>Два трехфазных шестиимпульсных циклоконвертора показаны на рис. 1.34. Циклопреобразователь с изолированными фазными нагрузками на рис. 1.34а питается от одного трехфазного источника. Если нагрузки соединены между собой, как показано на рис. 1.34, б, отдельные фазы циклоконвертера должны питаться от отдельных источников, таких как изолированные вторичные обмотки питающего трансформатора.</p> <p>Практичные циклоконверторы - это неизменно мощные преобразователи, обычно используемые в синхронных приводах с регулируемой частотой вращения, требующих длительной работы на низких оборотах.</p> <p>Матричный преобразователь, показанный на рис. 1.35 в трехфазном исполнении, представляет собой сеть двунаправленных силовых выключателей, таких как на рис. 1.30, подключенных между каждой из входных клемм и каждой из</p>
--	--

<p>each of the input terminals and each of the output terminals. In this respect, the matrix converter</p> <p>constitutes an extension of the generic power converter in Fig. 1.1. The voltage of any input terminal can be made to appear at any output terminal (or terminals), while the current in any phase of the load can be drawn from any phase (or phases) of the supply line. An input LC filter is employed to screen the supply system from harmonic currents generated by the converter, which operates in the PWM mode. The load inductance assures continuity of the output currents. Although, with the 9 switches, the matrix converter can theoretically have 512 states, only 27 states are permitted. Specifically, at any time, one and only one switch in each row must be closed. Otherwise, the</p>	<p>выходных клемм. В этом отношении матричный преобразователь</p> <p>представляет собой расширение универсального силового преобразователя, представленного на рис. 1.1. Напряжение с любой входной клеммы может быть подано на любую выходную клемму (или клеммы), в то время как ток в любой фазе нагрузки может быть получен из любой фазы (или фаз) линии питания. Входной LC-фильтр используется для защиты системы питания от гармонических токов, генерируемых преобразователем, который работает в режиме ШИМ. Индуктивность нагрузки обеспечивает непрерывность выходных токов. Хотя при наличии 9 переключателей матричный преобразователь теоретически может иметь 512 состояний, допустимо только 27 состояний. В частности, в любой момент времени должен быть замкнут один и только один переключатель в каждом ряду. В противном случае входные клеммы</p>
--	---

<p>input terminals would be shorted or the output currents would be interrupted.</p> <p>The voltages, v_a; v_b, and v_c, at the output terminals are given by</p> <p>where x_{Aa} through x_{Cc} denote switching functions of switches S_{Aa} through S_{Cc}, and v_A; v_B, and v_C are the voltages at the input terminals. In turn, the line-to-neutral output voltages, v_{an}; v_{bn}, and v_{cn}, can be expressed in terms of v_a; v_b, and v_c as</p> <p>The input currents, i_A; i_B, and i_C, are related to the output currents, i_a; i_b, and i_c, as</p> <p>Fundamentals of both the output voltages and input currents can successfully be controlled by employing a specific, appropriately timed sequence of the switching functions. As a result of</p>	<p>будут закорочены или выходные токи будут прерываться.</p> <p>Напряжения v_a, v_b и v_c на выходных клеммах задаются как</p> <p>где x_{Aa} - x_{Cc} обозначают функции переключения переключателей S_{Aa}-S_{Cc} и v_A; v_B и v_C - напряжения на входных клеммах. В свою очередь, выходные напряжения между линией и нейтралью, v_{an}; v_{bn} и v_{cn}, могут быть выражены в терминах v_a; v_b и v_c как</p> <p>Входные токи i_A, i_B и i_C связаны с выходными токами i_a, i_b и i_c следующим образом</p> <p>Основными параметрами как выходных напряжений, так и входных токов можно успешно управлять, используя определенную, соответствующим образом рассчитанную последовательность функций переключения. В результате такого управления</p>
--	--

such control, the fundamental output voltages acquire the desired frequency and amplitude, while the low-distortion input currents have the required phase shift (usually zero) with respect to the corresponding input voltages.

Example waveforms of the output voltage and current are shown in Fig. 1.36. For reference, waveforms of the line-to-line input voltages are shown, too. The output frequency, ω_0 , in Fig. 1.36a is 2.8 times higher than the input frequency, ω , while the ω_0/ω ratio in Fig. 1.36b is 0.7. Respective magnitude control ratios, M , are 0.8 and 0.4.

Apart from the conceptual simplicity and elegance, matrix converters have not yet found widespread application in practice. Two major reasons are the low voltage gain, limited to $\sqrt{3}/2 \approx 0,866$,

основные выходные напряжения приобретают желаемую частоту и амплитуду, в то время как входные токи с низким уровнем искажений имеют требуемый фазовый сдвиг (обычно нулевой) по отношению к соответствующим входным напряжениям.

Примерные формы сигналов выходного напряжения и тока показаны на рис. 1.36. Для справки, также показаны формы сигналов линейных входных напряжений. Выходная частота ω_0 на рис. 1.36a в 2,8 раза превышает входную частоту ω , в то время как отношение ω_0/ω на рис. 1.36b равно 0,7. Соответствующие коэффициенты регулирования величины, M , равны 0,8 и 0,4.

Помимо конструктивной простоты и элегантности, матричные преобразователи пока не нашли широкого применения на практике. Двумя основными причинами являются низкое усиление по напряжению, ограниченное $\sqrt{3}/2 \approx 0,866$, и отсутствие полностью

and unavailability of fully controlled bidirectional semiconductor switches.	управляемых двунаправленных полупроводниковых переключателей.
DC TO DC CONVERTERS	DC DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
Dc to dc converters, called choppers, are supplied from a dc voltage source, typically a diode rectifier and a dc link, as shown in Fig. 1.37. The dc link consists of a large capacitor connected across the input terminals of the chopper and, often but not necessarily, a series inductance. The capacitor smooths the dc voltage produced by the rectifier and serves as a source of the high- frequency ripple current drawn by the chopper. The inductor provides an extra screen for the supply power system against the high-frequency currents. All choppers are pulse width modulated, the phase	DC DC Преобразователи, называемые чопперами, питаются от источника постоянного напряжения, обычно это диодный выпрямитель и линия постоянного тока, как показано на рис. 1.37. Канал постоянного тока состоит из большого конденсатора, подключенного на входных клеммах прерывателя и, часто, но не обязательно, последовательную индуктивность. Конденсатор сглаживает постоянное напряжение, создаваемое выпрямителем, и служит источником высокочастотных пульсаций тока, потребляемого прерывателем. Индуктор обеспечивает дополнительную защиту системы электроснабжения от высокочастотных токов. Все чопперы имеют широтно-импульсную модуляцию, поэтому регулирование фазы невозможно как

control being infeasible with both the input and output voltages of the dc type. Most choppers are of the step-down (buck) type, that is, the average output voltage, V_o , is always lower than the input voltage, V_i . The first-quadrant chopper, based on a single fully

controlled switch and a freewheeling diode, is shown in Fig. 1.38. Both the output voltage, v_o , and current, i_o , can only be positive. The average output voltage is given by

where D denotes the duty ratio of the switch. The magnitude control ratio, M , is defined here as V_o/V_i and it equals D . Example waveforms of v_o and i_o are shown in Fig. 1.39, with M changing from 0.5 to 0.75. As in all PWM converters, the output voltage is pulsed, but the output current is continuous

при входном, так и при выходном напряжении постоянного тока.

Большинство чопперов имеют понижающий (buck) тип, то есть среднее выходное напряжение, V_o , всегда ниже входного напряжения, V_i . чопперами первого квадранта, основанный на единственном полностью

управляемый переключатель и диод свободного хода показаны на рис. 1.38. Как выходное напряжение, v_o , так и ток, i_o , могут быть только положительными. Среднее выходное напряжение определяется по формуле

где D обозначает скважность переключателя. Коэффициент регулирования амплитуды M определяется здесь как V_o/V_i и равен D . Примерные формы сигналов v_o и i_o показаны на рис. 1.39, где M изменяется от 0,5 до 0,75. Как и во всех ШИМ-преобразователях, выходное напряжение является импульсным, но выходной ток является постоянным благодаря индуктивности нагрузки. Пульсации

thanks to the load inductance. The current ripple is inverse proportional to the switching frequency, f_{sw} . Specifically, the rms value, $I_{o,ac}$, of the ac component of the output current is given by

where L denotes inductance of the load.

The reason for the absolute value, M , of the magnitude control ratio appearing in Eq. (1.16) is that this ratio in choppers can assume both the positive and negative values. In particular, $M > 0$ indicates operation in the first and third quadrant (see Fig. 1.14), while $M < 0$ is specific for choppers operating in the second and fourth quadrant. The most versatile dc to dc converter, the four-quadrant chopper shown in Fig. 1.40, can, as its name indicates, operate in all four quadrants.

тока обратно пропорциональны частоте переключения, f_{sw} . В частности, среднеквадратичное значение, $I_{o,ac}$, переменной составляющей выходного тока определяется по формуле

где L обозначает индуктивность нагрузки.

Причина, по которой модуль M коэффициента регулирования амплитуды указано в уравнении (1.16), заключается в том, что этот коэффициент в чопперах может принимать как положительные, так и отрицательные значения. В частности, $M > 0$ указывает на работу в первом и третьем квадрантах (см. рис. 1.14), в то время как $M < 0$ характерно для чопперов, работающих во втором и четвертом квадрантах. Самый универсальный преобразователь постоянного тока в постоянный, четырехквадрантный чоппер, показанный на рис. 1.40, может, как следует из его названия, работать во всех четырех квадрантах.

<p>In the first quadrant, switch S4 is turned on all the time, to provide a path for the output current, i_o, while switch S1 is chopping with the duty ratio D1. The remaining two switches, S2 and S3, are OFF. In the second quadrant, it is switch S2 that is chopping, with the duty ratio D2, and all the other switches are OFF. Analogously, in the third quadrant, switch S1 is ON, switch S3 is chopping with the duty ratio D3 and, in the fourth quadrant, switch S4 is chopping with the</p> <p>duty ratio D4. When a chopping switch is OFF, conduction of the output current is taken over by a respective freewheeling diode, for instance, D1 in the first quadrant of operation. The magnitude control ratio, M, is given by</p>	<p>В первом квадранте переключатель S4 постоянно включен, чтобы обеспечить подачу выходного тока ввода-вывода, в то время как переключатель S1 отключается со скважностью D1. Остальные два переключателя, S2 и S3, выключены. Во втором квадранте отключен переключатель S2 со скважностью D2, а все остальные переключатели выключены. Аналогично, в третьем квадранте переключатель S1 включен, переключатель S3 переключается со скважностью D3, а в четвертом квадранте переключатель S4 переключается со скважностью</p> <p>D4. Когда переключатель выключен, выходной ток передается соответствующему диоду свободного хода, например, D1 в первом квадранте работы. Коэффициент регулирования амплитуды, M, определяется как</p>
---	--

<p>If the chopper operates in Quadrants 2 and 4, the power flows from the load to the source, necessitating presence of an EMF, E, in the load. The EMF must be positive in Quadrants 1 and 2, and negative in Quadrants 3 and 4. For sustained operation of the chopper with a continuous output current, the magnitude control ratio must be limited in dependence on the ratio E/V_i as illustrated in Fig. 1.41. These limitations, as well as Eq. (1.17), apply to all choppers.</p> <p>Any less-than-four-quadrant chopper can easily be obtained from the four-quadrant topology. Consider, for instance, a two-quadrant chopper, capable of producing an output voltage of both polarities, but with only a positive output current. Clearly, this converter can operate in the first and</p>	<p>Если прерыватель работает в квадрантах 2 и 4, мощность передается от нагрузки к источнику, что требует наличия ЭДС E в нагрузке. ЭДС должна быть положительной в квадрантах 1 и 2 и отрицательной в квадрантах 3 и 4. Для длительной работы прерывателя с постоянным выходным током коэффициент регулирования величины должен быть ограничен в зависимости от соотношения E/V_i, как показано на рис. 1.41. Эти ограничения, а также уравнение (1.17) применимы ко всем чопперам.</p> <p>С помощью четырехквадрантной топологии можно легко получить любой чоппер работающий менее чем в четырех квадрантах. Рассмотрим, например, двухквадрантный прерыватель, способный выдавать выходное напряжение обеих полярностей, но только с положительным выходным током. Очевидно, что этот преобразователь может работать в первом и четвертом квадрантах. Его</p>
---	---

fourth quadrants. Its circuit diagram, shown in Fig. 1.42, is determined by eliminating switches S2 and S3 and their companion diodes, D2 and D3, from the four-quadrant chopper circuit in Fig. 1.40.

A step-up (boost) chopper, shown in Fig. 1.43, produces a pulsed output voltage, whose amplitude, $V_{o;p}$, is higher than the input voltage. If a sufficiently large capacitor is connected across the output terminals, the output voltage becomes continuous, with $V_o \approx V_{o;p} > V_i$. When switch S is turned on, the input inductor, L_c , is charged with electromagnetic energy, which is then released into the load by turning the switch off. The magnitude control ratio, M , defined as V_{op}/V_i in an ideal (lossless) step-up chopper is given by

принципиальная схема, показанная на рис. 1.42, определяется путем исключения переключателей S2 и S3 и сопутствующих им диодов D2 и D3 из четырехквadrантной схемы прерывателя на рис. 1.40.

Повышающий преобразователь, показанный на рис. 1.43, генерирует импульсное выходное напряжение, амплитуда которого, $V_{o;p}$, выше входного напряжения. Если к выходным клеммам подключен конденсатор достаточной емкости, выходное напряжение становится постоянным, при этом $V_o \approx V_{o;p} > V_i$. Когда переключатель S включен, входная катушка индуктивности L_c заряжается электромагнитной энергией, которая затем передается в нагрузку при выключении переключателя. Коэффициент регулирования амплитуды, M , определяемый как V_{op}/V_i в идеальном (без потерь) повышающем преобразователе, определяется как

where D denotes the duty ratio of the switch. In real choppers, the value of M saturates at a certain level, usually not exceeding 10 and dependent mostly on the resistance of the input inductor. Example waveforms of the output voltage and current in a step-up chopper without the output capacitor are shown in Fig. 1.44.

DC TO AC CONVERTERS

Dc to ac converters are called inverters and, depending on the type of the supply source and the related topology of the power circuit, they are classified as voltage-source inverters (VSIs) and current-source inverters (CSIs). The simplest, single-phase, half-bridge, VSI is shown in Fig.1.45. The switches may not be ON simultaneously, because they would short the supply source. There is

где D обозначает скважность переключателя. В реальных чопперах значение M насыщается на определенном уровне, обычно не превышающем 10 и зависящем в основном от сопротивления входной катушки индуктивности. Примерные формы сигналов выходного напряжения и тока в повышающем преобразователе без выходного конденсатора показаны на рис. 1.44.

DC/AC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Преобразователи постоянного тока в переменный называются инверторами и, в зависимости от типа источника питания и соответствующей топологии силовой цепи, подразделяются на инверторы с источником напряжения (VSI) и инверторы с источником тока (CSIs). Простейший однофазный полумостовой инвертор с источником напряжения показан на рис.1.45. Ключи не могут быть включены одновременно, так как это приведет к короткому замыканию источника питания. При выключении обоих ключей нет никакой

<p>no danger in turning both switches off, but the output voltage, v_o, would then depend on the conducting diode, that is, it could not be determined without some current sensing arrangement. Therefore, only two states of the inverter are allowed. Consequently, a single switching function, a, can be assigned to the inverter. Defining it as</p>	<p>опасности, но в этом случае выходное напряжение v_o будет зависеть от проводящего диода, то есть его невозможно будет определить без какого-либо устройства для измерения тока. Таким образом, возможны только два состояния инвертора. Следовательно, инвертору может быть назначена единственная функция переключения, a. Определяемая как</p>
--	---

This article discusses the basics of power electronics. A generic converter is considered, along with other devices such as rectifiers and inverters. It also discusses converters with current or voltage sources and circulating current dual converter. Different topologies of converters, such as single-phase and three-phase bridge circuits, are explored. The article highlights the differences between various types of switches, with a focus on the differences between PWM (pulse width modulation) and phase-controlled converters.