



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 44266

(13) C2

(51) 6 H02M7/48

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) БАГАТОСТУПЕНЕВИЙ ЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1

2

(21) 96083230

(22) 28 12 1995

(24) 15 02 2002

(46) 15 02 2002, Бюл. № 2, 2002 р

(86) PCT/FR95/01750, 28 12 1995

(31) 94/15866

(32) 29 12 1994

(33) FR

(72) Лав'євль Жан-Поль, FR, Гонзалес Хуан, FR

(73) ЖЕ-Е-СЕ АЛЬСТОМ ТРАНСПОР СА, FR

(56) Заявка Франции 2679715, А1, 29 01 1993

(57) 1 Многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии, содержащий между источником напряжения и источником тока ряд последовательных управляемых переключающих ячеек, имеющих каждая два переключателя, причем один вывод каждого из двух переключателей образует часть предшествующей пары выводов, другой же вывод каждого из переключателей образует часть последующей пары выводов, а последующая пара выводов предшествующей ячейки соединена с предшествующей парой выводов последующей ячейки, предшествующая же пара выводов первой ячейки соединена с указанным источником тока, в то время, как пара последующих выводов последней ячейки соединена с указанным источником напряжения, конденсаторы в соответствующих ячейках, конденсатор последней ячейки может быть исключен, если свойства указанного источника напряжения позволяют источнику играть его роль, подсоединенных между двумя выводами, образующими последующую пару выводов соответствующей ячейки, многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии снабжен устройствами управления, управляющими номинальной работой преобразователя путем воздействия на переключатели последовательных ячеек таким образом, что два переключателя любой ячейки всегда находятся в противоположных состояниях проводимости, так что по поступлении управляющих сигналов от указанных устройств управления к ячейке один из двух переключателей данной ячейки находится последовательно вначале в первом, а затем во втором состоянии проводимости в течение циклически повторяющегося периода, и под воздействием идентичных управляющих ячейкой сигналов, которые, однако, сдвинуты по

времени друг относительно друга на долю указанного периода, переключатели последовательных ячеек функционируют таким же образом, но с временным сдвигом на указанную долю периода, при этом конденсаторы последовательности имеют возрастающие номинальные напряжения зарядов такие, что номинальное среднее напряжение на конденсаторе каждой из указанных ячеек равно произведению напряжения указанного источника напряжения, умноженному на величину, обратную количеству ячеек, и на порядковый номер ячейки, отличающийся тем, что содержит устройства оценки среднего напряжения на каждом из конденсаторов, устройства измерения на каждом из указанных конденсаторов любой разности между оценкой среднего напряжения заряда и номинальным средним напряжением заряда конденсатора и выдачи соответствующих разностных сигналов, и корректирующие средства управления, принимающие указанные разностные сигналы и в результате управляющие, по меньшей мере, одной временной соединительной цепью между двумя конденсаторами с целью коррекции указанной разности

2 Многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии по п. 1, отличающийся тем, что указанные корректирующие средства управления содержат одну корректирующую схему для каждого конкретного конденсатора преобразователя, причем каждая из указанных схем принимает один из указанных разностных сигналов вместе с разрешающим сигналом от генератора тактовых импульсов и вырабатывает в ответ один из двух сигналов управления перезарядом, предназначенных для управления связью каждого конкретного из конденсаторов с предшествующей цепью для разряда и с последующей цепью для подзаряда соответственно

3 Многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии по п. 2, отличающийся тем, что указанная предшествующая цепь содержит непосредственно предшествующий конденсатор

4 Многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии по п. 2, отличающийся тем, что указанная последующая цепь содержит непосредственно следующий конденсатор

(13) C2

(11) 44266

(19) UA

Изобретение относится к многоступенчатому электронному преобразователю электрической энергии и может использоваться в промышленности в источниках питания

Во французской заявке FR2679715A1 описан электронный преобразователь энергии и содержащий его источник питания. Описанный в настоящей заявке электронный преобразователь энергии, приведен на фиг.1. Между источником напряжения SE и источником тока он содержит, в основном, ряд управляемых переключающих ячеек CL1, CL2, ..., CLn, содержащих каждая два переключателя T1, T', T2, T'2, ..., Tn, Tn, причем один вывод каждого из двух переключателей образует часть предшествующей пары выводов, другой же вывод каждого из переключателей образует часть последующей пары выводов, а последующая пара выводов предшествующей ячейки соединена с предшествующей парой выводов последующей ячейки, предшествующая же пара выводов первой ячейки CL1 соединена с указанным источником тока C (в дальнейшем ИТ), в то время, как пара последующих выводов последней ячейки CLn соединена с указанным источником напряжения SE, кроме того, преобразователь содержит конденсаторы C1, C2, ..., Cn в соответствующих ячейках (конденсатор последней ячейки может быть исключен, если свойства указанного источника напряжения SE позволяют ему играть ту же роль), подсоединенных между двумя выводами, образующими последующую пару выводов соответствующей ячейки, далее, преобразователь снабжен устройствами управления (не показанными на фиг.), управляющими номинальной работой преобразователя и воздействующими на переключатели последовательных ячеек так, что два переключателя любой ячейки всегда находятся в противоположных состояниях проводимости (показано на фиг. связью Id), т.е. по поступлении управляющих сигналов от указанных устройств управления один из переключателей данной ячейки находится последовательно вначале в первом, а затем во втором состоянии проводимости в течение циклически повторяющегося периода преобразования, и под воздействием идентичных управляющих сигналов, которые, однако, сдвинуты по времени друг относительно друга на долю указанного периода преобразования, переключатели последовательных ячеек функционируют таким же образом, но с временным сдвигом на указанную долю периода.

Предпочтительно выбирать указанную долю периода равной величине, обратной количеству n ячеек, т.е.  $2\pi/n$ , такое значение оптимально относительно гармоник, появляющихся на выходе, и обеспечивает естественный баланс напряжений зарядов конденсаторов преобразователя. Можно, однако, выбирать и другие значения сдвига.

В таком преобразователе в следующих друг за другом конденсаторах C1, C2, ..., Cn, связанных с указанными ячейками, накапливается заряд при

среднем напряжении, равном напряжению VE указанного источника напряжения, умноженному на величину, обратную количеству ячеек в преобразователе, и на порядковый номер ячейки, т.е.  $VE/3$ ,  $2VE/3$ ,  $VE$  при  $n = 3$ , т.е. когда преобразователь имеет всего 3 ячейки.

Все сказанное, естественно, справедливо и для других значений  $n \geq 2$ .

Термин "многоступенчатый электронный преобразователь энергии" (МП) обозначает далее преобразователь, соответствующий описанию, приведенному выше.

Однако в известном многоступенчатом электронном преобразователе электрической энергии условия формирования заряда каждого из конденсаторов не может обеспечить функционирование устройства при отклонении от номинального режима.

Задачей изобретения является создание такого многоступенчатого электронного преобразователя электрической энергии, в котором используемые элементы и их компоновка позволяют создать условия формирования заряда каждого из конденсаторов, обеспечивающие функционирование устройства, несмотря на неизбежные отклонения от номинального режима.

Поставленная задача решается тем, что известный многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии, содержащем между источником напряжения и источником тока ряд последовательных управляемых переключающих ячеек, имеющих каждая два переключателя, причем один вывод каждого из двух переключателей образует часть предшествующей пары выводов, другой же вывод каждого из переключателей образует часть последующей пары выводов, а последующая пара выводов предшествующей ячейки соединена с предшествующей парой выводов последующей ячейки, предшествующая же пара выводов первой ячейки соединена с указанным источником тока, в то время, как пара последующих выводов последней ячейки соединена с указанным источником напряжения, конденсаторы в соответствующих ячейках, конденсатор последней ячейки может быть исключен, если свойства указанного источника напряжения позволяют источнику играть его роль, подсоединенных между двумя выводами, образующими последующую пару выводов соответствующей ячейки, многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии снабжен устройствами управления, управляющими номинальной работой преобразователя путем воздействия на переключатели последовательных ячеек таким образом, что два переключателя любой ячейки всегда находятся в противоположных состояниях проводимости, так что по поступлении управляющих сигналов от указанных устройств управления к ячейке один из двух переключателей данной ячейки находится последовательно вначале в первом, а затем во втором состоянии проводимо-

сти в течение циклически повторяющегося периода, и под воздействием идентичных управляющих ячеек сигналов, которые, однако, сдвинуты по времени друг относительно друга на долю указанного периода, переключатели последовательных ячеек функционируют таким же образом, но с временным сдвигом на указанную долю периода, при этом конденсаторы последовательности имеют возрастающие номинальные напряжения зарядов такие, что номинальное среднее напряжение на конденсаторе каждой из указанных ячеек равно произведению напряжения указанного источника напряжения, умноженному на величину, обратную количеству ячеек, и на порядковый номер ячейки, согласно изобретению, содержит устройства оценки среднего напряжения на каждом из конденсаторов, устройства измерения на каждом из указанных конденсаторов любой разности между оценкой среднего напряжения заряда и номинальным средним напряжением заряда конденсатора и выдачи соответствующих разностных сигналов, и корректирующие средства управления, принимающие указанные разностные сигналы и в результате управляющие, по меньшей мере, одной временной соединительной цепью между двумя конденсаторами с целью коррекции указанной разности.

Рекомендуется, чтобы указанные корректирующие средства управления содержали одну корректирующую схему для каждого конкретного конденсатора преобразователя, причем каждая из указанных схем принимала бы один из указанных разностных сигналов вместе с разрешающим сигналом от генератора тактовых импульсов и вырабатывала бы в ответ один из двух сигналов управления перезарядом, предназначенных для управления связью каждого конкретного из конденсаторов с предшествующей цепью для разряда и с последующей цепью для подзаряда соответственно.

Целесообразно, чтобы указанная предшествующая цепь содержала непосредственно предшествующий конденсатор.

Предпочтительно, чтобы указанная последующая цепь содержала непосредственно следующий конденсатор.

Чтобы рассмотреть более детально, как в номинальных условиях изменяется заряд на одном из конденсаторов, обратимся к фиг. 2, где показана произвольно выбранная переключающая ячейка  $C_{ik}$  вместе с ее переключателями  $T_k$  и  $T'_k$ , конденсатором  $C_k$ , принадлежащим этой ячейке, а также последующей ячейкой  $C_{ik+1}$  с ее переключателями  $T_{k+1}$  и  $T'_{k+1}$ . С учетом соединений между переключателями каждой ячейки,  $T_k$  и  $T'_k$  или  $T_{k+1}$  и  $T'_{k+1}$ , пара смежных ячеек  $C_{ik}$  и  $C_{ik+1}$ , показанная на фиг. 2, может иметь 4 состояния.

а) первое состояние, при котором  $T_k$  и  $T_{k+1}$  разомкнуты, так что заряд конденсатора  $C_k$  остается неизменным,

б) второе состояние, при котором оба  $T_k$  и  $T_{k+1}$  замкнуты, заряд конденсатора  $C_k$  также остается неизменным, так как  $T'_k$  и  $T'_{k+1}$  при этом разомкнуты,

с) третье состояние, при котором  $T_k$  замкнут, а  $T_{k+1}$  разомкнут, так что ток  $I_k$  от ИТ С, равный  $I$ ,

протекает через  $T_k$ , в то время, как ток  $I'_k$  через  $T'_k$  равен 0. Состояние  $T_{k+1}$  определяет  $I_{k+1} = 0$ , а  $I'_{k+1} = I$ , вследствие чего ток  $I_{ck}$  через конденсатор  $C_k$  равен  $I$ ,

д) четвертое состояние, при котором  $T_k$  разомкнут, а  $T_{k+1}$  замкнут, так что ток  $I'_k$  от ИТ С, равный  $I$ , протекает через  $T'_k$ , в то время, как ток  $I_k$  через  $T_k$  равен 0. Состояние  $T_{k+1}$  определяет  $I_{k+1} = I$ , а  $I'_{k+1} = 0$ , вследствие чего ток  $I_{ck}$  через конденсатор  $C_k$  равен  $I$ .

Токи  $I_{ck} = I'_k + 1$  и  $I_{ck} = I_k + 1$  добавляют заряды противоположных знаков в конденсаторе  $C_k$  в третьем и четвертом состояниях, мы будем называть первую ситуацию отрицательной, а вторую положительной. Источником токов в этих двух состояниях является ИТ. Если ИТ выдает постоянный ток строго выдерживаемой величины, все остальное остается постоянным, токи от ИТ во время состояний с) и d) одинаковы и протекают в противоположных направлениях в течение периодов проводимости  $T_k$  и  $T_{k+1}$  (которые, как уже указывалось, в номинальном режиме одинаковы и сдвинуты по времени). Это означает, что заряд конденсатора  $C_k$  меняет свою величину положительно и затем отрицательно на одну и ту же величину, и, таким образом, остается неизменным за период преобразователя.

Токи  $I_{ck}$  и  $I'_{ck}$  зависят от напряжения источника напряжения, ток от ИТ и напряжения  $V_{ck}$  на конденсаторе  $C_k$ . Иными словами, если внутреннее сопротивление ИТ конечно, ток ИТ зависит от напряжения на его выходных клеммах и, таким образом, от напряжений  $V_{ck}$  на конденсаторах. Например, если по какой-либо причине напряжение  $V_{ck}$  окажется выше его номинального значения  $V_{exk/n}$ , то это приведет к увеличению тока разряда  $I'_{ck}$  и уменьшению тока заряда  $I_{ck}$  по сравнению с их номинальными значениями, и, в результате, к возврату заряда конденсатора  $C_k$  к значению, которое он должен иметь. Таким образом, можно видеть, что работа МП будет стабильной, несмотря на колебания амплитуды в обоих направлениях, как от ИТ, так и от источника напряжения. Тем не менее, как пояснено ниже, это создает проблемы, связанные с динамикой.

На фиг. 3 иллюстрирован пример функционирования МП, показанного на фиг. 1 и 2, для случая  $n = 3$ , для того, чтобы подать к ИТ С синусоидально модулированное напряжение использована широтно-импульсная модуляция, т.е. в течение последовательности периодов  $p_1, p_2, p_3$ , при работе преобразователя (линия t) переключатели  $T_1, T_2$ , и  $T_3$  один за другим находятся в замкнутом состоянии в течение временных промежутков, изменяемых с соответствии с волной модуляции выходного напряжения, называемой далее "модулирующей" волной. В каждый момент времени переключатели  $T'_1, T'_2$ , и  $T'_3$  находятся в противоположных состояниях. Естественно, иные типы модуляции работы переключателей также позволяют получить такой же результат. Ясно также, что преобразователь можно использовать, чтобы подать к ИТ С волну любой иной формы или регулируемое постоянное напряжение.

Рассмотрим вначале работу преобразователя в течение периода  $p_1$ . Если в течение этого перио-

да один из переключателей T1, T2 и T3 замкнут, то остальные два разомкнуты. Для каждой пары смежных ячеек и конденсатора между ними это соответствует вышеописанным состояниям, с) и d), когда конденсатор получает дополнительные отрицательный и затем положительный заряды с результирующим значением, равным в номинальных условиях 0. Следует также отметить, что в то время, как смежные ячейки CL1 и CL2 находятся в состоянии d), смежные ячейки CL2 и CL3 находятся в состоянии с), так что конденсатор C1 получает дополнительный положительный заряд от того же тока, который приносит конденсатору C2 дополнительный отрицательный заряд. Фиг. 3 также дает пример, показывающий, как МП работает в течение периодов  $r_1$ ,  $r_2$ , и т.д., в продолжение которых периоды проводимости переключателей T1, T2, T3 становятся короче, а затем длиннее, пока они не превзойдут одну треть периода, вследствие чего произойдет их взаимное перекрытие. Линия VI показывает значение напряжения, которое в идеальном случае было бы передано ИТ, в частности, в случае, если емкость конденсаторов была бы такова, что упомянутые дополнительные заряды незначительно влияли на напряжения, на них. Напряжение VI представлено в долях напряжения VE источника напряжения SE, отсчитываемого относительно отрицательного вывода SE. Легко видеть, что напряжение VI содержит как основную составляющую на частоте модулирующей волны, так и низкоамплитудные гармоники частот выше частоты прерывателя, которые легко удалить с помощью фильтра нижних частот.

Поскольку изменение тока происходит синусоидально, состояния с) и d), упомянутые выше, вызывают неодинаковые изменения заряда конденсаторов преобразователя, так как в течение промежутка времени между двумя состояниями ток успеет измениться. Этим обстоятельством можно пренебречь, только если рабочий период переключателей значительно превосходит частоту модулирующей волны.

Следует также ожидать, что переменный ток, подаваемый в ИТ, не будет строго синусоидальным, но будет иметь искажения несимметричного вида. Аналогично этому, ошибки уровней управляющих сигналов, или в генерируемых ими сигналах, или любые ошибки, приводящие к различию в моментах переключения различных переключателей, всегда приводят к неравенству продолжительностей проводимости переключателей за рабочий период преобразователя, или вызывают временной сдвиг фаз проводимости переключателей, или же приводят к разбалансировке токов заряда и разряда конденсаторов. Вследствие этого, вообще говоря, в МП описанного типа нельзя на практике обеспечить выполнение функциональных требований. К сожалению, повторяющаяся ошибка в добавляемом заряде приведет к ошибке в заряде конденсатора (в ту или иную сторону) и, таким образом, к ошибке в среднем значении напряжения на конденсаторе, тем самым, повышая уровень искажений на рабочей частоте напряжения, подаваемого преобразователем к источнику тока.

На фиг. 3 это явление проиллюстрировано кривой VT, подобной кривой VI, за исключением того, что конденсатор C1 (фиг. 1), который предполагается заряжаемым до напряжения ниже номинального, предотвращает выдачу преобразователем импульсов  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  постоянной амплитуды, вместо которых преобразователь генерирует импульсы, подобные  $v_1'$ , меньшей амплитуды (масштаб искажен для улучшения представления), делая это всякий раз, когда конденсатор C1 добавляет собственное напряжение к напряжению выдаваемое в ИТ C, а также импульсы, подобные  $v_2'$ , большей амплитуды, делая это в случаях, когда конденсатор C1 вычитает свое напряжение из напряжения, подаваемого к ИТ, и, наконец, также импульсы, подобные  $v_3'$ , неизменяемой амплитуды, когда конденсатор C1 выключен из цепи. Таким образом, легко видеть, что это добавляет в сигнал VI' возмущающую составляющую на указанной частоте преобразователя.

Такая возмущающая составляющая отсутствует, когда конденсаторы получают номинальный заряд. Обычно такая составляющая вредна. Тем не менее, и, прежде всего, переключатели попадают под напряжения, уже не равные разности номинальных напряжений на смежных конденсаторах, т.е. напряжение источника напряжения, деленное на количество ступеней преобразователя. Это опасно для переключателей.

Конечно, как уже отмечалось ранее, ошибки заряда имеют тенденцию к спонтанному поглощению, однако этот процесс занимает время. Кроме того, этот спонтанный процесс происходит с участием ИТ. Следовательно, он невозможен при отсутствии тока от ИТ и, во всяком случае, протекает медленнее, если ток, протекающий через ИТ, мал. Исходя из указанных выше особенностей, в изобретении предложен МП, в котором номинальное среднее значение заряда на каждом конденсаторе можно поддерживать лучше.

Задачей изобретения является создание такого электронного преобразователя электрической энергии, в котором используемые электронные схемы, обеспечивают поддержание номинального среднего значения заряда на каждом конденсаторе, что улучшает работу источника питания.

Поставленная задача решается тем, что многоступенчатый электронный преобразователь электрической энергии, содержащий, между источником напряжения и источником тока ряд последовательных управляемых переключающих ячеек, имеющих каждая два переключателя, причем один вывод каждого из двух переключателей образует часть предшествующей пары выводов, другой же вывод каждого из переключателей образует часть последующей пары выводов, а последующая пара выводов предшествующей ячейки соединена с предшествующей парой выводов последующей ячейки, предшествующая же пара выводов первой ячейки соединена с указанным источником тока, в то время, как пара последующих выводов последней ячейки соединена с указанным источником напряжения, конденсаторы в соответствующих ячейках, конденсатор последней ячейки может быть исключен, если свойства указанного источника напряжения позволяют источ-

нику играть его роль, подсоединенных между двумя выводами, образующими последующую пару выводов соответствующей ячейки, многоуровневый электронный преобразователь электрической энергии снабжен устройствами управления, управляющими номинальной работой преобразователя путем воздействия на переключатели последовательных ячеек таким образом, что два переключателя любой ячейки всегда находятся в противоположных состояниях проводимости, так что по поступлении управляющих сигналов от указанных устройств управления к ячейке один из двух переключателей данной ячейки находится последовательно вначале в первом, а затем во втором состоянии проводимости в течение циклически повторяющегося периода, и под воздействием идентичных управляющих ячейкой сигналов, которые, однако, сдвинуты по времени друг относительно друга на долю указанного периода, переключатели последовательных ячеек функционируют таким же образом, но с временным сдвигом на указанную долю периода, при этом конденсаторы последовательности имеют возрастающие номинальные напряжения зарядов такие, что номинальное среднее напряжение на конденсаторе каждой из указанных ячеек равно произведению напряжения указанного источника напряжения, умноженному на величину, обратную количеству ячеек, и на порядковый номер ячейки, согласно изобретению, содержит устройства оценки среднего напряжения на каждом из конденсаторов, устройства измерения на каждом из указанных конденсаторов любой разности между оценкой среднего напряжения заряда и номинальным средним напряжением заряда конденсатора и выдачи соответствующих разностных сигналов, и корректирующие средства управления, принимающие указанные разностные сигналы и в результате управляющие, по меньшей мере, одной временной соединительной цепью между двумя конденсаторами с целью коррекции указанной разности.

Рекомендуется, чтобы указанные корректирующие средства управления содержали одну корректирующую схему для каждого конкретного конденсатора преобразователя, причем каждая из указанных схем принимает один из указанных разностных сигналов вместе с разрешающим сигналом от генератора тактовых импульсов и вырабатывает в ответ один из двух сигналов управления перезарядом, предназначенных для управления связью каждого конкретного из конденсаторов с предшествующей цепью для разряда и с последующей цепью для подзаряда соответственно.

Предлагается, чтобы указанная предшествующая схема цепи непосредственно предшествующий конденсатор.

Целесообразно, чтобы указанная последующая цепь содержала непосредственно следующий конденсатор.

Наличие, по меньшей мере, одного из указанных разностных сигналов предпочтительно вызывает выполнение цикла коррекции, в котором при наличии разрешающих тактовых сигналов происходит последовательный ввод в действие коррек-

тирующих схем.

Преимуществом является то, что разность порождает разностный сигнал только тогда, когда она превосходит заранее заданный порог.

В воплощении амплитуда одного из указанных разностных сигналов определяет величину и длительность указанного сигнала коррекции.

В другом варианте указанный сигнал коррекции имеет заранее заданную длительность, соответствующую порядковому номеру корректируемой схемы.

Различные элементы и характерные особенности изобретения более иллюстративно изложены в нижеследующем описании воплощения на примере (не ограничивающем применимости изобретения), со ссылками на прилагаемые чертежи, где

фиг. 1, описанная выше, представляет принципиальную схему известного МП,

фиг. 2, описанная выше, представляет принципиальную схему двух смежных ступеней МП из фиг. 1,

фиг. 3, описанная выше, представляет диаграмму функционирования МП из фиг. 1 и 2 для случая, когда МП имеет 3 ступени,

фиг. 4 представляет принципиальную схему устройства управления для МП типа, показанного на фиг. 1, 2 и 3 и скомпонованных так, чтобы сделать возможным воплощение изобретения и

фиг. 5 представляет принципиальную схему устройства оценки напряжения на конденсаторе и пригодную для использования в цепях фиг. 4.

Повторное описание МП не дано. Схемы из фиг. 1, 2 и 3 соответствуют преобразователю типа, описанного в документации к патенту FR2697715A1, к которому читатель может обратиться за более детальной информацией.

Из элементов фиг. 1 на фиг. 4 показаны только конденсаторы C1, C2, ..., Cn. В изобретении каждый из этих конденсаторов связан с цепями оценки VMO1, VMO2, ..., VMO<sub>n</sub>, определяющими оценку среднего напряжения на каждом из конденсаторов. Со стороны конденсаторов каждая схема оценки подсоединена к выводам соответствующего конденсатора. Она вырабатывает сигналы оценки VO1, VO2, ..., VOn, представляющие средние значения напряжения на конденсаторах.

Как можно видеть из фиг. 5, схема оценки содержит входные резисторы  $ptk1$  и  $ptk2$ , последовательно подсоединенные к выводам конденсатора, с которых определенная часть напряжения конденсатора поступает к аналого-цифровому преобразователю (АЦП), который при поступлении очередного импульса  $f_{kp}$  выдает цифровое значение напряжения к усредняющей схеме Sck, выходной сигнал которой один раз за цикл преобразователя поступает к схеме стробирования PVK, запускаемой сигналом  $gk$ . Сигналы  $f_k$  и  $g_k$  поступают от генератора тактовых импульсов BT (фиг. 4), и их положения во времени внутри рабочего периода преобразователя таковы, что после  $m$  измерений напряжения в пределах рабочего периода преобразователя и вычисления среднего значения результатов указанных измерений полученное значение среднего напряжения заряда один раз за рабочий период преобразователя мо-

жет быть снято с выхода VOk схемы Sck в момент, наиболее удобный для определения возможных ошибок заряда конденсаторов, как это пояснено ниже

В изобретении каждый из этих конденсаторов связан также с цепями измерения разности  $VE_1$ ,  $VE_2$ , ...,  $VE_n$ , предназначенными для измерения любой разности, которая может возникнуть между средним значением напряжения заряда, получаемым от соответствующей схемы оценки, и номинальным средним значением напряжения на конденсаторе. Схема измерения разности сама вычисляет номинальное среднее напряжение на конденсаторе как долю  $1/n$  напряжения  $VE$  источника напряжения  $SE$  ( $n$  - количество ступеней в преобразователе), умноженную на ранг  $R$  ступени. Таким образом, схема получает значения  $VE$  и  $R$ , величина же  $n$ , постоянная для данного преобразователя, введена в цепь схемно (величина  $R$ , будучи константой для каждой ступени, может быть введена схемно аналогичным образом). Схема формирует из этих величин номинальное среднее напряжение заряда  $VE \cdot R/n$  и сравнивает его с оценкой среднего напряжения заряда, чтобы выдать разностный сигнал  $VEC_1$ ,  $VEC_2$ , ...,  $VEC_n$ , представляющий разность между этими двумя напряжениями. В другом варианте, однако, разностный сигнал может представлять собой простой двухбитовый логический сигнал, указывающий лишь на наличие разности и ее знак. По причинам, разъясняемым далее, целесообразно формировать разностный сигнал только тогда, когда разность зарядов конденсатора превосходит определенное пороговое значение, которое может быть задано схемно в цепи измерения разности.

Устройства контроля на фиг. 4 содержат также управляющие модули  $MC_1$ ,  $MC_2$ , ...,  $MC_n$ . Эти управляющие модули срабатывают в ответ на сигнал  $sd$ , выдаваемый схемой формирования импульсов в каждом периоде, такой, например, как  $p_1$  (фиг. 3), и выдают запусковые сигналы  $sd_1$ ,  $sd_2$ , ...,  $sd_n$ , сдвинутые друг относительно друга на часть периода, задаваемую элементами задержки  $R_2$ ,  $R_3$ , ...,  $R_n$ , управляя, таким образом, переключающими ячейками со сдвигом. Важной функцией управляющих модулей  $MC_1$ ,  $MC_2$ , ...,  $MC_n$  является выработка управляющего импульса, который приводит сигналы  $CT_1$ ,  $CT_2$ , ...,  $CT_n$  к их активному уровню на номинальный промежуток времени, определяемый величиной  $VE$  напряжения источника напряжения и величиной  $M$  модулирующего сигнала.

Каждый из этих импульсов, управляющих активным уровнем, поступает непосредственно к соответствующему переключателю  $T_1$ ,  $T_2$ , ...,  $T_n$ , устанавливая его в разомкнутое состояние, а также к соответствующей схеме стробирования  $pe_1$ ,  $pe_2$ , ...,  $pe_n$ , которая затем задает противоположный или "неактивный" уровень соответствующему переключателю  $T_1$ ,  $T_2$ , ...,  $T_n$ , устанавливая его в замкнутое состояние, независимо от уровней на других входах схемы стробирования. Состояния указанных переключателей показаны на фиг. 3 (0 - разомкнут, 1 - замкнут).

Разностные сигналы должны воздействовать на корректирующую схему управления, генератор

тактовых импульсов  $BT$  и схемы коррекции  $EC_1$ ,  $EC_2$ , ...,  $EC_n$ , каждая из которых связана с соответствующим конденсатором преобразователя и которая принимает указанные разностные сигналы и соответствующим образом управляет, по меньшей мере, одной временной соединительной цепью между двумя конденсаторами, устраняя этим указанную разность.

В данном случае каждая из этих цепей получает разностный сигнал  $VEC_1$ ,  $VEC_2$ , ...,  $VEC_n$  вместе с разрешающим сигналом  $ue$  от схемы формирования импульсов и выдает в ответ один из двух сигналов управления перезарядом  $CR_1$ ,  $CR'_1$ ,  $CR_2$ ,  $CR'_2$ , ...,  $CR_n$ ,  $CR'_n$ , один из которых должен обеспечить соединение данного конденсатора  $C_1$ ,  $C_2$ , ...,  $C_n$  с предшествующей цепью для ее разряда, а второй обеспечивает соединение конденсатора с последующей цепью для ее перезаряда.

Для примера рассмотрим конденсатор  $C_1$ . Соответствующая схема коррекции, если она активизирована (как это происходит, объяснено ниже) и получила сигнал ошибки (представляющий ошибку, превосходящую заданное пороговое значение), выдает сигналы управления перезарядом  $CR_1$ , если заряд конденсатора слишком велик, или  $CR'_1$ , если заряд слишком мал.

Если принять, что в исходном состоянии заряд конденсатора  $C_1$  слишком велик, сигнал активного состояния  $CR_1$  создает на выходе схемы стробирования  $pe_1$  сигнал неактивного состояния, который приводит переключатель  $T_1$  в проводящее состояние. Легко видеть (фиг. 1), что, поскольку переключатель  $T_1$  также замкнут (так как сигнал  $CT_1$  имеет активный уровень, в частности по причине отсутствия какого-либо сигнала  $sd$ ), конденсатор  $C_1$  будет замкнут накоротко через ключи  $T_1$  и  $T_2$ . Так как эта схема короткого замыкания включает провода, всегда обладающие индуктивностью, то, учитывая кратковременность сигнала управления перезарядом  $C_1$  (несколько мкс), можно добиться калиброванного уменьшения заряда конденсатора. Можно обеспечить связь между его длительностью и амплитудой сигнала ошибки, если сигнал ошибки действительно представляет ее величину. При таких условиях необходимо учитывать ток  $I$ , протекающий через источник тока и складывающийся с током разряда конденсатора  $C_1$ . В более просто реализуемом варианте, возможно, также обеспечить постоянство и малую величину этой продолжительности, в этом случае коррекция заряда конденсатора происходит в несколько шагов. В этом случае шаги достаточно малы для того, чтобы после последнего шага коррекции остаточная ошибка заряда была меньше указанного заданного порогового значения.

Если теперь вместо конденсатора  $C_1$  рассмотреть конденсатор  $C_2$ , то процессы будут такими же, причем сигнал управления перезарядом будет непосредственно подсоединять конденсатор  $C_2$  к конденсатору  $C_1$  через переключатели  $T_2$  и  $T'_2$ . Разность между напряжениями двух конденсаторов равна заряду (имеется в виду напряжение - прим. переводчика) конденсатора  $C_1$ . Таким образом, вначале имеет место короткое замыкание

такого же характера. Тем не менее, при передаче заряда от конденсатора C2 к конденсатору C1, напряжение на конденсаторе C1 растет, ограничивая переход заряда от C2 к C1. Продолжительность передачи заряда должна быть, следовательно, увеличена (примерно вдвое, предполагая, что разность напряжений меньше напряжения на конденсаторах). Кроме того, заряд, передаваемый конденсатору C1, является для него избыточным и вызовет появление ошибки напряжения заряда, которая будет скорректирована так, как описано выше. Ток I источника тока также будет оказывать действие, описанное выше. То же самое относится ко всем ступеням преобразователя.

Теперь рассмотрим случай, когда конденсатор C1 заряжен недостаточно, так что сигнал управления перезарядом CR' воздействует на схему стробирования re2, которая устанавливает неактивное состояние, вызывая замыкание переключателя T2. Таким образом, сигнал CR' управления перезарядом вызывает непосредственное присоединение конденсатора C1 к конденсатору C2, так что заряд переходит от конденсатора C2 к конденсатору C1, так, как описано выше. Тем не менее, эта коррекция заряда конденсатора C1 одновременно вызывает появление ошибки заряда конденсатора C2, эта ошибка будет после этого скорректирована, как это описано выше, и т.д.

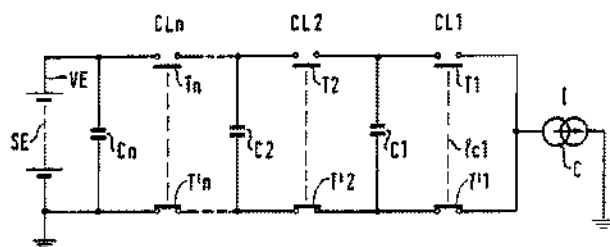
Схема ЕСn показана, но так как переключателей  $T_{n+1}$ ,  $T'_{n+1}$  нет, выход CRn' отсутствует.

Для обеспечения номинального функционирования схем коррекции в воплощении на фиг. 4 предусмотрено наличие по меньшей мере одного из указанных разностных сигналов VEC1, VEC2, VECn, обнаруживаемого схемой ETE типа "ИЛИ" и воздействующего на генератор тактовых импульсов BT, в результате чего он генерирует цикл коррекции, выполняющийся между двумя

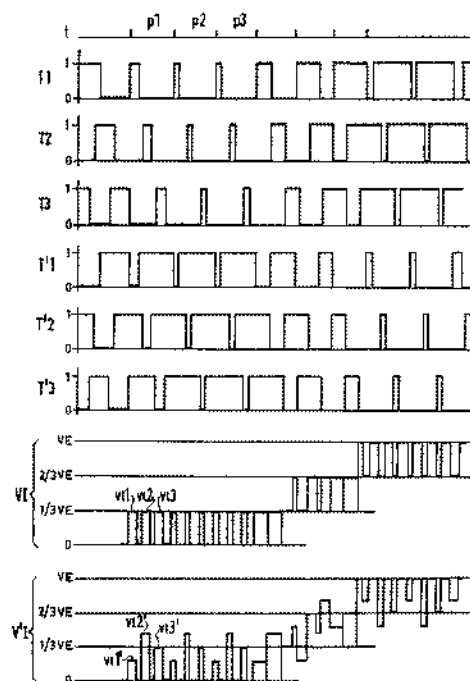
периодами преобразователя. В течение цикла коррекции схема генерации импульсов вырабатывает сигнал  $ve$ , который непосредственно порождает сигнал  $ve1$ , запускающий схему коррекции EC1, а затем вырабатывает сигналы  $ve2$ , ...,  $ven$ , последовательно запускающие схемы коррекции EC2, ..., ECn, используя каскад цепей задержки T2, ..., Tn.

Таким образом, при обнаружении разности, а обычно происходит обнаружение только одной из них, происходит выполнение цикла коррекции. Если его выполнение приводит к возникновению ошибки в смежном конденсаторе преобразователя, происходит выполнение еще одного цикла коррекции, целесообразно обеспечить минимальную паузу между этими циклами путем необходимой организации работы схемы генерации импульсов. Сдвигая во времени операции коррекции для каждого последующего конденсатора, можно добиться коррекции нескольких одновременно обнаруженных разностей в одном цикле.

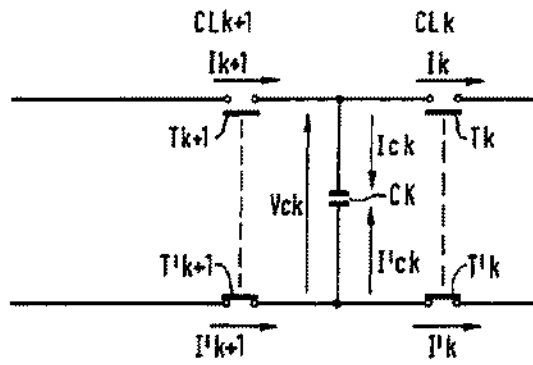
Приведенное описание соответствует конкретному примеру, не ограничивающему применимости изобретения, и численные параметры могут быть иными для других воплощений. Изобретение может быть также применено в источниках питания, в которых использован описанный выше преобразователь. Аналогичным образом описание относится к случаю, когда источник напряжения вырабатывает положительное напряжение относительно эталона или земли, причем заряды конденсаторов смещены в том же направлении, а ток протекает от положительного вывода источника напряжения к источнику тока. Очевидно, что квалифицированный специалист сможет приспособить изобретение к случаю, когда полярности различны.



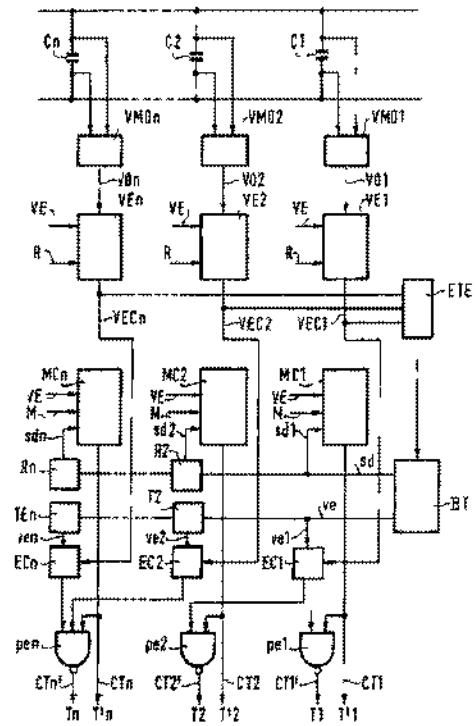
Фиг. 1



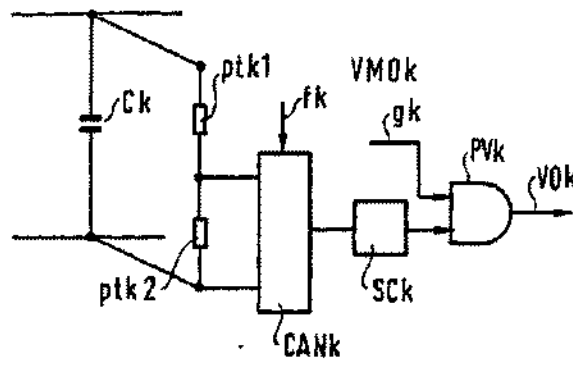
Фиг. 3



Фиг. 2



Фиг. 4



Фиг. 5