

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ИНВЕРТОРЕ
В ОДНОФАЗНОЙ СИСТЕМЕ ИНВЕРТОР–ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Розглянуті засоби регулювання напруги у системі інвертор–індуктивно-ємнісний перетворювач–трансформатор за допомогою моделі цієї системи, реалізованої у середовищі Simulink.

В предыдущей статье* рассмотрены способы регулирования уровня стабилизированного тока в однофазной системе инвертор–индуктивно-емкостный преобразователь (ИЕП) (рис. 1) и показано, что при симметричном управлении транзисторами инвертора за счет изменения длительности нулевого значения его выходного напряжения происходит увеличение количества переключений при рекуперации энергии через диоды в источник питания и, как следствие, увеличение динамических потерь в транзисторах и диодах инвертора. В результате исследований* сделан вывод о нецелесообразности такого регулирования стабилизированного тока широтно-импульсным способом.

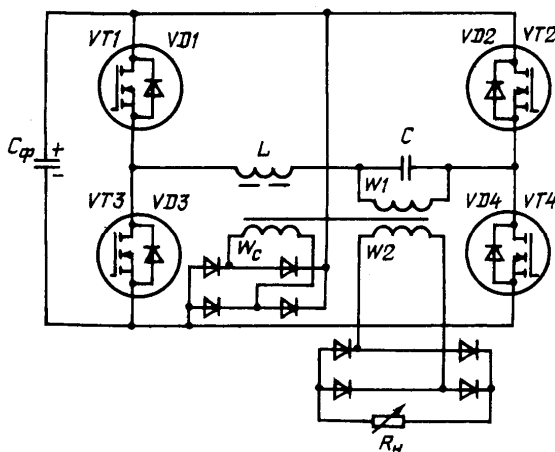


Рис. 1

Для уменьшения динамических потерь в транзисторах инвертора при регулировании уровня тока за счет широтно-импульсного регулирования (ШИР) выходного напряжения в инверторе предлагается создать несимметричное управление транзисторами инвертора. Опишем работу инвертора при ШИР в этом случае. Согласно временным диаграммам управления инвертором, показанным на рис. 2, сначала включаются транзисторы VT1 и VT4 и ток протекает по цепи $(+C_\phi) - VT1 - L - \left\langle \frac{C}{R_H} \right\rangle - VT4 - (-C_\phi)$. Затем VT4 выключается. Полярность напряжения на индуктивности меняется,

и ток начинает протекать по цепи $(+L) - \left\langle \frac{C}{R_H} \right\rangle - VD2 - VT1 - (-L)$. В напряжении диагонали ин-

вертора возникает полочка, так как диагональ не подсоединена к источнику питания. В это время инвертор не потребляет ток из сети. Дополнительные импульсы в диагонали инвертора не возникают. Ступенька длится, пока не включатся транзисторы VT2 и VT3, а VT1 в это

время выключится. При этом ток начинает протекать по цепи $(+C_\phi) - VT2 - \left\langle \frac{C}{R_H} \right\rangle - L - VT3 - (-$

$C_\phi)$, а импульс напряжения диагонали инвертора меняет полярность. После запираания тран-

зистора VT3 начинает формироваться ступенька, и ток протекает по цепи $(+L) - VD1 - VT2 - \left\langle \frac{C}{R_H} \right\rangle - (-L)$.

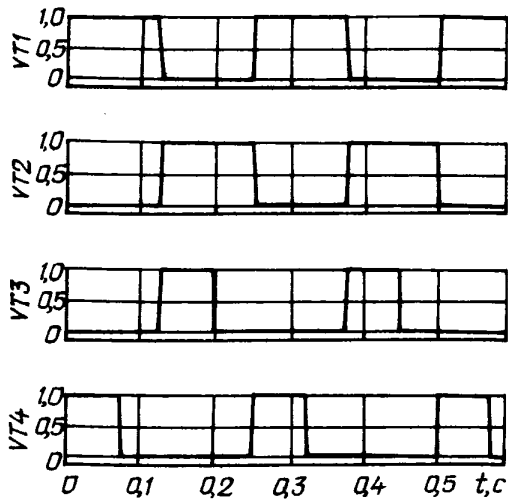


Рис. 2

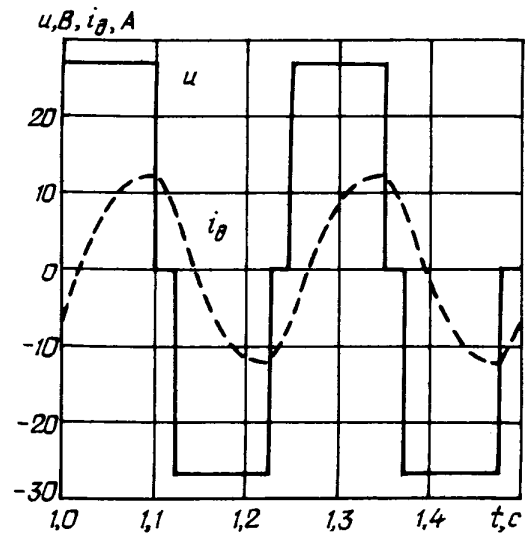


Рис. 3

На рис. 3 представлен ток в диагонали, а на рис. 4 – ток потребления инвертора для $f = 40$ кГц, $\Delta t = 2$ мкс, $R_H = 4,5$ кОм. На этом рисунке и в дальнейшем масштаб напряжений в вольтах 1:1, а токов в амперах 6:1, время в секундах 10^{-4} ($c \cdot 10^{-4}$).

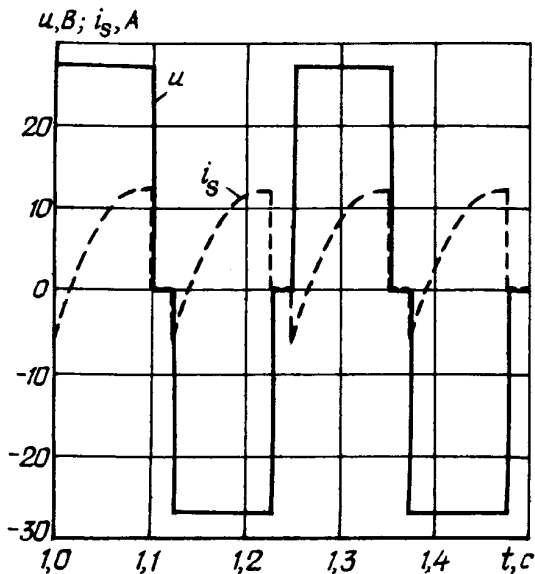


Рис. 4

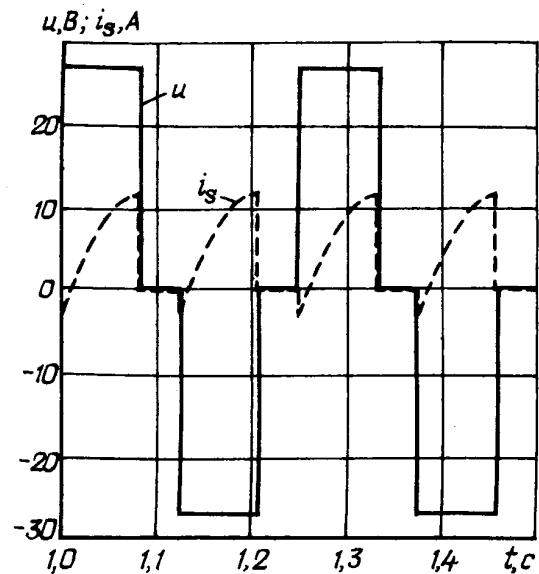


Рис. 5

Видно, что напряжение диагонали не содержит дополнительных импульсов (рис. 3), однако рекуперация в инверторе имеется (рис. 4, отрицательное значение тока). Это объясняется тем, что длительность ступеньки меньше, чем длительность, в течение которой проводят ток диоды. На рис. 5 длительность полочки 4 мкс и ток рекуперации близок к нулю. Форма тока в диагонали для этого случая показана на рис. 6.

Поскольку ток на выходе ИЕП прямо пропорционален напряжению на его входе, то изменяя с помощью ШИР выходное напряжение инвертора, мы меняем уровень стабилизированного тока нагрузки.

Зависимость среднего тока нагрузки ИЕП от длительности полочки приведена в табл. 1 для $f = 40$ кГц, $R_H = 4,5$ кОм.

В силу того, что при несимметричном управлении инвертором не возникают дополнительные импульсы напряжения в диагонали инвертора во время регулирования, т.е. отсут-

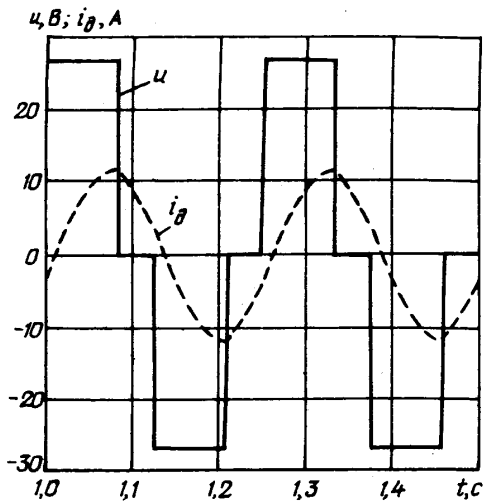


Рис. 6

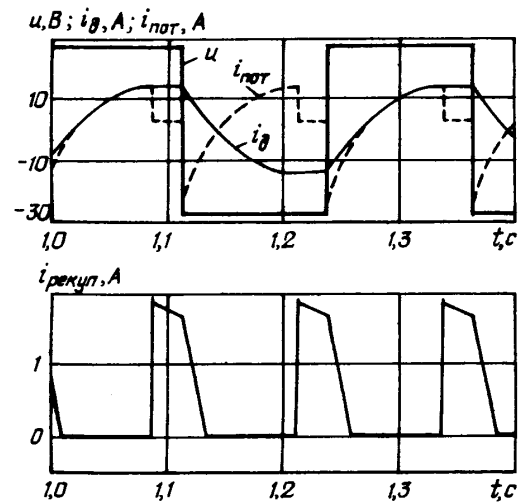


Рис. 7

Δt , мкс	1	2	3	4	5	7
I_{Hcp} , А	0,072	0,0701	0,0685	0,0623	0,0575	0,042
U_{Hcp} , В	324,4	316,6	302,4	282,4	257,3	193,6

вуют дополнительные динамические потери, а также нет отрицательного тока рекуперации, этот вариант может быть рекомендован для регулирования уровня тока нагрузки. Кроме того, этот вариант можно использовать для ограничения напряжения на нагрузке, если ввести обратную связь по напряжению на регулятор уровня тока с тем, чтобы при превышении напряжения выше допустимого уменьшался ток нагрузки. Проиллюстрируем это на следующем примере.

Для $f = 40$ кГц, $\Delta t = 1$ мкс, $R_H = 10$ кОм получаем $U_{Hcp} = 691$ В, $I_{Hcp} = 0,069$ А. Если установить ступеньку $\Delta t = 7$ мкс, то получим напряжение $U_{Hcp} = 344,6$ В, а ток $I_{Hcp} = 0,0344$ А.

При увеличении сопротивления нагрузки ИЕП увеличивается напряжение на ней. Ограничить чрезмерный рост напряжения можно также введением в согласующий трансформатор обмотки сброса W_C (рис. 1). Если эту обмотку включить на выпрямитель, выход которого подсоединить встречно к источнику питания инвертора, то при достижении на выходе выпрямителя напряжения, равного источнику питания, он откроется и через обмотку сброса начнет протекать ток, который будет вычитаться из тока нагрузки ИЕП. Увеличение сопротивления нагрузки приводит к увеличению тока сброса и уменьшению тока нагрузки. Напряжение на нагрузке будет ограничиваться на значениях, определяемых обмоткой сброса. Для коэффициента трансформации $K = W_1/W_C = 0,9$ на рис. 7 приведены ток и напряжение в диагонали инвертора (сплошные линии на верхнем рисунке) для $f = 40$ кГц, $R_H = 8$ кОм и длительности полочки с нулевым значением напряжения $\Delta t = 1$ мкс. Пунктирными линиями на верхнем рисунке изображена кривая тока потребления инвертором из питающей сети.

Из рис. 7 видно, что при превышении напряжения на нагрузке больше установленного и наличии обмотки сброса появляется ток сброса, вычитающийся из тока потребления инвертора. На рис. 8 изображена сплошными линиями кривая напряжения на нагрузке и штрихпунктирными – кривая тока сброса. Масштаб на этом рисунке для напряжения 1:10, а для тока 10:1. Из рисунка видно, что вершина напряжения имеет плоскую часть, длительность которой совпадает с длительностью тока сброса, что отражено пунктирными линиями на рисунке. Чем больше сопротивление нагрузки ИЕП, тем больше плоская часть на напряжении. Происходит параметрическое ограничение напряжения на выходе ИЕП.

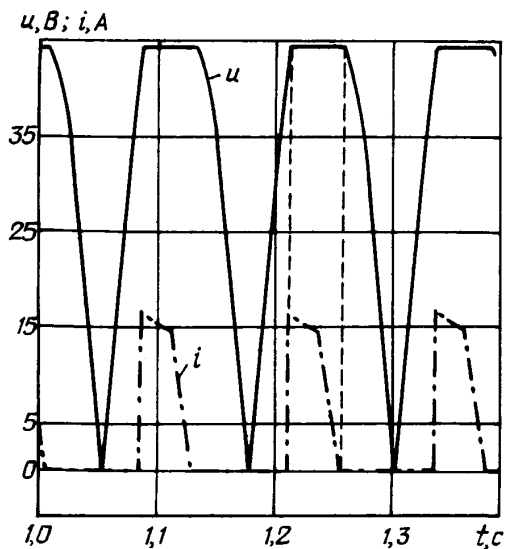


Рис. 8

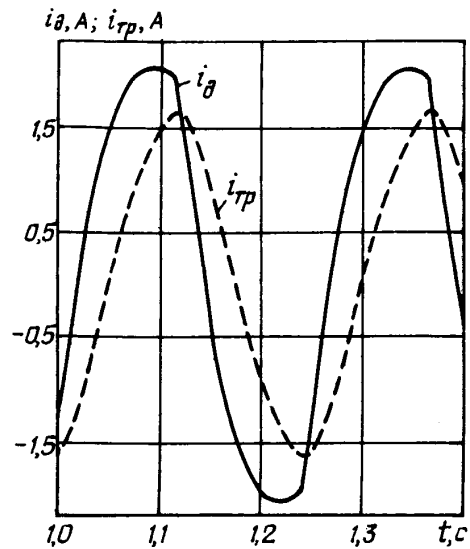


Рис. 9

На рис. 9 показаны сплошными линиями форма тока в диагонали инвертора и пунктирными линиями форма тока в нагрузке в первичной обмотке трансформатора для $f = 40$ кГц, $\Delta t = 1$ мкс и $R_H = 4,5$ кОм. Из рисунка видно, что Г-образная схема ИЕП обладает высокими фильтрующими свойствами для номинальной нагрузки ($n_p = 1$)*.

На рис. 10 показан ток потребления инвертором при ограничении напряжения за счет сброса энергии через дополнительную обмотку W_c трансформатора и выпрямитель при превышении напряжения на нагрузке выше установленного для $f = 40$ кГц, $\Delta t = 5$ мкс, $R_H = 8$ кОм.

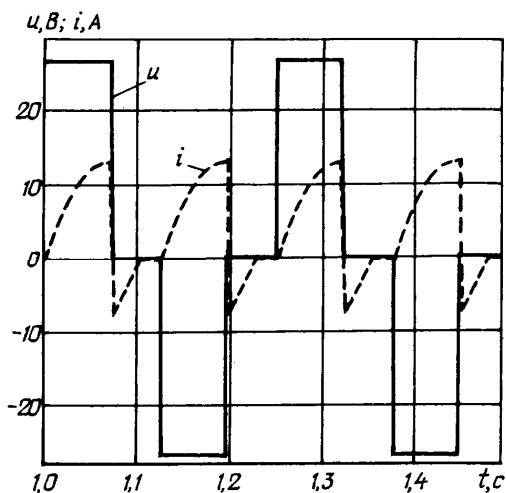


Рис. 10

Из рис. 10 видно, что при работе сброса во время полочки, на части периода протекает только отрицательный ток сброса, поскольку отрицательный ток рекуперации для полочки $\Delta t = 5$ мкс отсутствует и, как видно из рисунка, после спада тока сброса до нуля, ток рекуперации протекает по цепям инвертора и возврат тока инвертором в сеть отсутствует. После включения очередных транзисторов инвертор начинает потреблять ток из сети.

Однако ограничение напряжения за счет обмотки сброса обладает тем преимуществом, что оно безынерционно, что надо учитывать при выборе способа ограничения напряжения. Поскольку в аварийных ситуациях, связанных с возникновением внезапного холостого хода, а также в других случаях, например, заряде конденсатора и его импульсном разряде, когда напряжение практически мгновенно изменяется от максимального значения до нуля, могут возникнуть проблемы с быстродействием обратной связи.

В заключение следует отметить, что существует большое число способов регулирования уровня неизменного тока в системе инвертор напряжения – ИЕП. Применение того или иного способа зависит от каждого конкретного случая и поставленных задач, т.е. существуют ли ограничения по массе и габаритам, быстродействию, стоимости, многофункциональности, схемной простоте, энергетическим показателям и др. У некоторых способов, указан-

ных в предыдущей статье* и в настоящей, то или иное качество может быть обнаружено без дополнительных исследований.

В результате проделанных исследований к практическому применению с учетом таких факторов, как многофункциональность, масса, схемная простота, энергетические показатели, жесткость нагрузочной характеристики, можно рекомендовать регулирование уровня тока за счет повышения частоты и широтно-импульсного регулирования при несимметричном управлении транзисторами инвертора напряжения. Следует отметить, что регулирование уровня тока за счет повышения частоты выше 40 % не позволит оптимизировать параметры таких электромагнитных элементов, как индуктивность ИЕП и трансформатор. Поэтому широтно-импульсное регулирование с несимметричным управлением транзисторами инверторов в данном случае является более целесообразным.

Рассмотрены способы регулирования выходного напряжения в инверторе в системе инвертор–индуктивно-емкостный преобразователь–трансформатор с помощью модели этой системы, реализованной в среде Simulink.

Were considered output voltage control methods in the inverter in the system of inverter-inductive-capacitor converter-transformer by means of the model of this system realized in Simulink environment.

Надійшла 2.04.2009
