

В. САРВ

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМИ УМНОЖИТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ С САМОПОДМАГНИЧИВАНИЕМ

В [1] были описаны и сравнены основные структуры силовых цепей различных преобразователей параметров электроэнергии на базе магнитных удвоителей частоты с самоподмагничиванием. При этом звеном структуры являлся элементарный двухсердечниковый удвоитель частоты. Но эти же структурные схемы являются основой комплектирования преобразователей на базе магнитных умножителей частоты (МУЧ) с самоподмагничиванием и при других кратностях умножения. Такая возможность вытекает из сходства основных процессов преобразования в симметричных МУЧ независимо от кратности умножения [2]. Звеном структуры преобразователей параметров электроэнергии на базе МУЧ является соответственно элементарный n -сердечниковый умножитель частоты в n раз.

Одновременно с принципами составления силовых цепей общими являются и основные способы, и структуры схем управления таких преобразователей, не зависящие от кратности умножения и вида выходного напряжения. В данной статье анализ способов управления проведем для идеализированного случая, предполагая, что кривые намагничивания сердечников являются прямоугольными и в умножителе частоты отсутствуют потери. В этом случае степень нагруженности МУЧ не влияет на процессы в цепях управления [3, 4] и анализ способов управления возможно провести в режиме холостого хода МУЧ. Такая идеализация оправдывается тем, что 1) раскрываются потенциальные возможности управляемых МУЧ, 2) свойства современных реальных МУЧ при использовании сердечников с прямоугольной кривой намагничивания приближаются к свойствам идеальных МУЧ.

Основные способы управления

Функцией системы управления МУЧ является регулирование n -й гармоники потокосцепления нелинейных магнитных элементов и в результате этого регулирование основной гармоники вторичного напряжения. Наличие и регулирование четных гармоник потокосцепления требует управляемой постоянной составляющей в нем. Изменением постоянной составляющей потокосцепления возможно регулировать и величину нечетных гармоник.

В общем для появления постоянной составляющей потокосцепления требуется намагничивание сердечника по крайней мере двумя различными частотами [5]. В МУЧ практически наиболее распространенным,

а до сих пор и наиболее экономичным [6], является создание постоянной составляющей потокосцепления при помощи подмагничивания сердечников постоянным током. В статье имеются в виду только те способы управления, которые основаны на изменении постоянной составляющей намагничивающей силы сердечников.

Так как согласно [1] все основные структуры МУЧ возможно укомплектовать из одинаковых звеньев структуры, то все возможные способы управления должны вывиться из анализа регулировочных свойств одного элементарного звена.

На основе [2] идеализированному элементарному звену МУЧ соответствует схема замещения, представленная на рис. 1, где e_n — э. д. с. вторичной цепи при номинальном токе управления, равная максимальному значению выходного напряжения; K — дроссель с идеальной кривой намагничивания сердечника, называемый в дальнейшем магнитным ключом; I_0 — постоянный ток подмагничивания; Z_y — сопротивление управления; i_y — ток управления; u_n — выходное напряжение звена; u_k — падение напряжения на магнитном ключе. В случае целесообразности источник постоянного тока заменим эквивалентным источником напряжения.

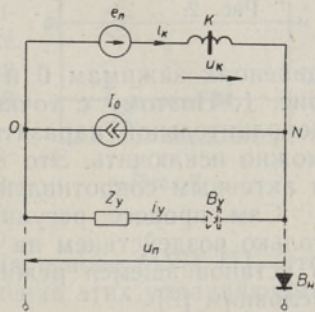


Рис. 1.

В цепь управления может быть включен вентиль B_y , пропускающий ток только в отрицательном направлении. Пунктиром показан способ присоединения элементарного звена к цепи нагрузки через вентиль B_n для осуществления положительной внутренней обратной связи.

При отсутствии вентиля B_y схема рис. 1 совпадает со схемой замещения нагруженного МУЧ с независимым подмагничиванием [2]. Поэтому для этих двух случаев качественно совпадают и процессы управления, описанные в [2]. Но одновременно нужно учитывать и различия: в нагруженном МУЧ с независимым подмагничиванием ток подмагничивания I_0 имел порядок номинального тока нагрузки, в то время как мы имеем дело с режимом холостого хода МУЧ с самоподмагничиванием, когда сопротивление управления в десятки и сотни раз больше номинального сопротивления нагрузки. Соответственно во столько же раз уменьшается и ток подмагничивания по сравнению с номинальным током нагрузки [3, 4].

При заданном e_n выходное напряжение u_n может зависеть только от I_0 и Z_y . Отсюда вытекают следующие основные способы управления:

- 1) $I_0 = \text{const}$, $Z_y = \text{var}$;
- 2) $I_0 = \text{var}$, $Z_y = \text{const}$.

В обоих случаях наличие вентиля B_y не изменяет основного характера процесса управления, но позволяет уменьшить потери в цепи управления. Это особенно важно, если Z_y является регулируемым и реализован, например, в виде транзистора.

Предположим, что $Z_y = R_y$, т. е. сопротивление в ветви управления является чисто активным. В этом случае легко показать идентичность процессов управления в схемах, имеющих и не имеющих вентиль B_y . Сделаем это на основе сравнения схем рис. 2, а и 2, б.

При условии $R_{y1} = R_{y2} = R_y$ режимы работы ключа K в схемах рис. 2, а и 2, б должны быть идентичными, так как одинаковое выходное напряжение u_n обуславливает одинаковый ток управления i_y . Схема

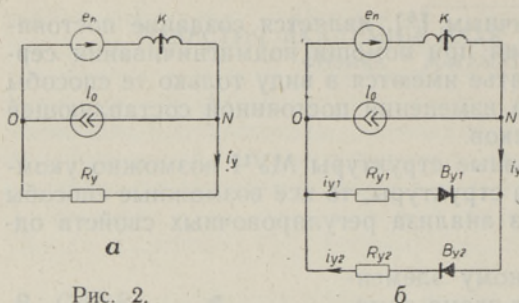


Рис. 2.

рис. 2, б отличается от схемы рис. 2, а только тем, что отрицательные и положительные полуволны тока управления идут по различным ветвям, что для режима работы ключа K несущественно.

В то же время положительный ток управления i_{y2} не оказывает регулирующего воздействия на режим работы ключа K . Сопротивление R_{y2} присоеди-

динено к зажимам 0 и N точно также, как внешняя цепь в схеме рис. 1. Поэтому с точки зрения МУЧ R_{y2} является просто некоторой дополнительной паразитной нагрузкой, которую из схемы управления можно исключить. Это ведет к схеме замещения рис. 1 с вентилем B_y и активным сопротивлением управления.

Сам процесс регулирования выходного напряжения осуществим только воздействием на его отрицательную амплитуду $|u_n|_{\max}$, которая в установившемся режиме должна удовлетворять одновременно двум условиям [2]

$$\begin{aligned} |u_n|_{\max} &\leq |e_n|_{\max}, \\ |u_n|_{\max} &\leq I_0 R_{y1} = I_0 R_y = u_y, \end{aligned}$$

где u_y — управляющее противонапряжение, которое в схемах рис. 1 и 2 создается падением напряжения $I_0 R_y$.

Когда отрицательная амплитуда вторичной э. д. с.

$$|e_n|_{\max} < I_0 R_y = u_y,$$

то в каждый момент времени $e_n + u_y > 0$. Следовательно, ключ K все время замкнут (сердечник насыщен в положительном направлении) и $u_n = e_n$, т. е.

$$|u_n|_{\max} = |e_n|_{\max}.$$

В этом режиме выходное напряжение u_n не зависит ни от тока I_0 , ни от сопротивления R_y .

Регулирование возможно при условии

$$I_0 R_y = u_y < |e_n|_{\max},$$

так как в этом случае на определенном этапе работы выполняется $e_n + u_y < 0$. Учитывая направление вентиля B_y , видим, что магнитный ключ разомкнут и потокосцепление магнитного ключа удаляется от своего насыщенного значения Ψ_{Ks} на величину

$$\Delta \Psi_K = \int_{t_1 + mT_n}^{t_2 + mT_n} (e_n + u_y) dt,$$

где t_1 и t_2 — начало и конец этапа работы с отрицательным напряжением ключа; T_n — период э. д. с. вторичной цепи; m — целое число.

С момента $t = t_2$ в связи с изменением знака u_K начинается рост Ψ_K . Ключ K замыкается снова в момент времени $t = t_3$, определяемый из условия

$$\Delta \Psi_K = \int_{t_1}^{t_3} (e_n + u_y) dt = 0.$$

В режиме разомкнутого ключа

$$|u_n| = |u_{n-}|_{\max} = I_0 R_y = u_y.$$

Так как выходное напряжение $u_n = e_n - u_K$ не может содержать постоянную составляющую, то регулирование ее отрицательной амплитуды ведет к регулированию выходного напряжения в целом [2].

На основе вышеизложенного ясно, что с точки зрения регулирования существенно только изменение произведения $I_0 R_y = u_y$, а не изменение тока I_0 и сопротивления R_y в отдельности. Поэтому в схемах с вентилем B_y возникает дополнительный способ регулирования согласно схеме рис. 3, где регулирующее падение напряжения $I_0 R_y$ заменено включением в ветвь управления внешнего напряжения управления u_y .

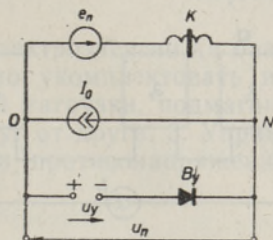


Рис. 3.

При оценке перечисленных способов управления нужно учитывать, что управление изменением активного сопротивления или внешнего напряжения управления может быть основой создания быстродействующих преобразователей на основе МУЧ [7]. Это связано с возможностью безынерционного изменения этих управляющих факторов. Изменение же постоянного тока подмагничивания обыкновенно связано с изменением энергии магнитного поля и соответственно с неизбежной инерционностью.

Основные структурные схемы

В реальных схемах преобразователей на базе МУЧ цепи нагрузки, подмагничивания и управления в общем случае разделены. Если включить источники питания в состав элементарного звена Э [1], последнее оказывается шестиполусником с парами клемм нагрузки, управления и подмагничивания (рис. 4, а). Естественно возможно совмещение двух или всех трех цепей, например согласно рис. 4, б.

Так как в данном случае величина и способ нагрузки не имеют обратного влияния на процессы управления, то в целях простоты на последующих рисунках цепи нагрузки могут быть не изображены. Возможные структуры цепей нагрузки систематизированы в [1].

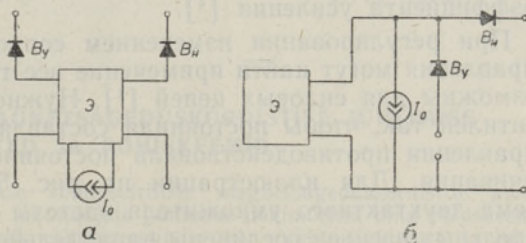


Рис. 4.

Функцией цепи подмагничивания является определение максимальной степени подмагничивания сердечников магнитных ключей, функцией цепей управления — уменьшение начального подмагничивающего воздействия и в результате этого управление выходным напряжением. Если эти функции выполняются отдельными цепями, то структуру этих цепей можно выбирать независимо друг от друга. Рассмотрим сперва такой общий случай.

Количество элементарных звеньев преобразователя определяется уже выбором структуры силовых цепей [1]. Принципиально цепи подмагничивания и управления всех звеньев могут остаться несвязанными. В этом

случае количество регулирующих воздействий равняется количеству звеньев. Хотя это делает управление максимально гибким, в целях упрощения управления целесообразно связывать подмагничивающие и управляющие цепи отдельных групп или даже всех звеньев. В последнем случае управление преобразователем возможно только одним регулирующим воздействием, что представляет наибольший практический интерес.

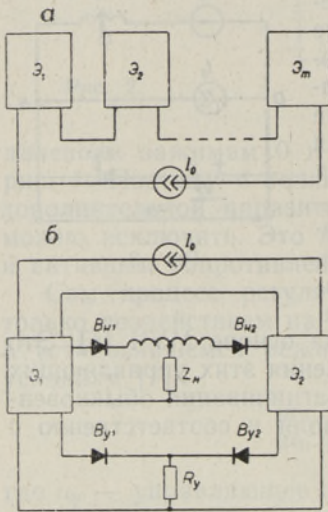


Рис. 5.

Приведем для этого случая основные структурные схемы, реализующие возможные способы управления.

При управлении изменением тока подмагничивания в целях уменьшения мощности управления целесообразно иметь как можно большее сопротивление управления. Но, с другой стороны, для сохранения управляемости недопустимо, чтобы $Z_y = \infty$ [8]. Практически динамическое сопротивление реальных сердечников [9] и внутренняя проводимость реальных источников тока всегда обеспечивают эквивалентное сопротивление управления с конечной величиной. Поэтому в случае управления изменением тока подмагничивания вся схема управления преобразователя согласно рис. 5, а может состоять только из последовательно соединенных цепей подмагничивания отдельных звеньев [4, 10]. Вследствие временного сдвига в работе отдельных звеньев [1] частота суммарного переменного напряжения в цепи подмагничивания $f_0 =$

$= n m f_1$, где f_1 — частота питания, n — кратность умножения отдельного звена, m — количество звеньев. Такое дополнительное повышение частоты облегчает создание реального источника постоянного тока на базе источника постоянного напряжения и последовательного активнo-индуктивного сопротивления при сохранении высокого динамического коэффициента усиления [4].

При регулировании изменением сопротивления для создания цепи управления могут найти применение все те структурные схемы, которые возможны для силовых цепей [1]. Нужно только изменить полярность вентилей так, чтобы постоянная составляющая тока во всех обмотках управления противодействовала постоянному току в обмотках подмагничивания. Для иллюстрации на рис. 5, б изображена структурная схема двухтактного умножителя частоты в n раз, где цепи управления отдельных звеньев соединены параллельно. Но применимы и все другие структуры.

Идентичность структурных схем цепей нагрузки и цепей управления иллюстрируется тем, что если в схеме рис. 5, б реверсировать или ток подмагничивания, или полярность всех вентилей, то прежнее сопротивление нагрузки Z_H станет управляющим, а прежнее сопротивление управления R_y сопротивлением нагрузки. Это следует понимать в том смысле, что после реверсирования режим замыкания-размыкания магнитных ключей можно регулировать уже изменением Z_H , а не R_y .

При регулировании изменением внешнего напряжения u_y применимы все схемы с управляющим сопротивлением. Последнее просто следует заменить источником напряжения u_y . В тех структурных схемах, где напряжение на управляющем сопротивлении являлось переменным, та-

ким же должно быть и напряжение управления u_y . Регулирование в этом случае возможно изменением или амплитуды, или фазы напряжения u_y . Когда же в исходной схеме напряжение на регулирующем сопротивлении выпрямлено, то и напряжение управления u_y должно быть однонаправленным.

Выводы

1. Все основные преобразователи параметров электроэнергии на базе МУЧ независимо от кратности умножения можно укомплектовать из одинаковых звеньев. 2. Способы соединения цепей нагрузки, подмагничивания и управления являются независимыми друг от друга. 3. Управление при помощи активного сопротивления или противонапряжения является быстроедействующим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарв В., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **19**, 94 (1970).
2. Сарв В. В., В сб.: Устройства преобразовательной техники, вып. 3, Киев, 1969, с. 133.
3. Сарв В. В., Сювари Т. Ю., В сб.: Вопросы теории и расчета устройств преобразовательной техники, Киев, 1968, с. 40.
4. Сарв В. В., В сб.: Проблемы технической электродинамики, вып. 24, Киев, 1970, с. 131.
5. Розенблат М. А., Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники, М., 1966.
6. Бамдас А. М., Блинов И. В., Захаров Н. В., Шапиро С. В., Ферромагнитные умножители частоты, М., 1968.
7. Сарв В. В., Сювари Т. Ю., Хунт Ю. И., В сб.: Проблемы технической электродинамики, вып. 29, Киев (в печати).
8. Сювари Т. Ю., В сб.: Устройства преобразовательной техники, вып. 3, Киев, 1969, с. 144.
9. Кабрал А. А., Лаусмаа Т. М., Ранне И. Э., Хунт Ю. И., В сб.: Устройства преобразовательной техники, вып. 2, Киев, 1969, с. 167.
10. Сарв В. В., В сб.: Проблемы технической электродинамики, вып. 19, Киев, 1969, с. 24.

*Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
11/VI 1970

V. SARV

ENDAMAGNEETIMISEGA MAGNETSAGEDUSKORDISTITE JUHTIMISE PÕHIMÕTTED JA PÕHISKEEMID

Süsteemiseeritakse ja võrreldakse sümmeetriliste magnetsageduskordistite alusel kujundatud elektrienergia parameetrite muundajate juhtimise põhimõtteid ning põhiskeeme. Väljundpinge reguleerimine on võimalik eelmagneetimisvoolu, juhtimisakistuse ja juhtimisahelasse ühendatud vastupinge muutmisega. Kaks viimast moodust võimaldavad reguleerida kiiretoimeliselt.

V. SARV

PRINCIPLES OF CONTROL AND THE BASIC CONTROL CIRCUITS OF MAGNETIC FREQUENCY MULTIPLIERS WITH SELF-MAGNETIZATION

The principles of control and the basic control circuits of magnetic frequency multipliers with self-magnetization are systematized and compared. Adjustment of the output voltage is obtainable by changing the premagnetizing current, control resistance and control voltage. The last two methods allow a rapid adjustment of the output voltage.