

3164006817

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 82-14

ОУНК

В. Гула, А.А.Черепакин

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРИ РАБОТЕ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Серпухов 1982

В. Гула, А.А.Черепашин

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРИ РАБОТЕ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация

Гула В., Черепакхин А.А.

Сравнение характеристик тиристорного преобразователя при работе с различными системами фазового управления. Серпухов, 1982.

13 стр. с рис. (ИФВЭ ОУНК 82-14).

Библиогр. 7.

Описаны некоторые схемы синхронных и асинхронных систем фазового управления тиристорными преобразователями. Приводятся результаты экспериментального исследования влияния асимметрии питающего напряжения на спектральный состав выходного напряжения преобразователя. Исследованы также динамические и частотные свойства этих систем.

Abstract

Gula V., Cherepakhin A.A.

Comparison of Thyristor Rectifier Characteristics with Different Gate Control Systems.

Serpukhov, 1982.

p. 13. (ИФВЭ 82-14).

Refs. 7.

Some thyristor gate control systems both synchronous and non-synchronous ones are described. The experimental results of supply voltage asymmetry influence on spectral contents of rectifier output voltage are quoted. Dynamic and frequency responses of these systems are investigated too.

ВВЕДЕНИЕ

Для электромагнитов физических установок ускорительно-накопительного комплекса (УНК) необходимы мощные источники питания, требования к выходным параметрам которых определяются необходимым качеством магнитного поля^{/1,2/} — его стабильностью, скоростью изменения и пульсациями.

Пульсации выходного напряжения и быстродействие тиристорного преобразователя (ТП), используемого в качестве источника питания, определяются системой фазового управления (СФУ), которая вырабатывает и перемещает во времени последовательность импульсов управления, изменяя выходное напряжение в зависимости от управляющего сигнала.

В данной работе рассматриваются системы фазового управления, наиболее широко применяемые для источников питания электрофизической аппаратуры. Системы управления анализируются с точки зрения влияния асимметрии питающего напряжения на спектральный состав выходного напряжения ТП, а также с точки зрения их динамических и частотных свойств.

Исследования проводились на шестифазном двенадцатипульсном ТП с критически задемпфированным пассивным LCR-фильтром (коэффициент подавления на частоте 600 Гц около 30). Максимальная мощность эквивалента нагрузки ($L_H = 5 \text{ мГ}$, $R_H = 0,35 \text{ Ом}$) составляла около 120 КВт.

1. ИССЛЕДУЕМЫЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Многоканальная синхронная система с синхронизацией от шести фаз (МСС 6) /3/

Система имеет 12 одинаковых каналов фазового управления, каждый из которых (рис. 1а) синхронизируется соответствующим линейным напряжением. Управляющий импульс в каждом канале вырабатывается формирователем импульсов ФИ, который запускается аналоговым компаратором К в момент равенства управляющего напряжения $U_{упр}$ и сигнала генератора пилообразного напряжения ГПН. Генератор запускается синхронизирующим устройством СУ в момент естественной коммутации тиристора при $\alpha = 0^\circ$ и сбрасывается при $\alpha = 180^\circ$. Соответствующий выбор напряжения смещения $U_{см}$ и амплитуды пилообразного напряжения позволяет осуществлять фазовый сдвиг поджигающих импульсов, который задается сигналом управления, общим для всех каналов, в допустимом интервале $[\alpha_{MIN}, \alpha_{MAX}]$ углов поджига.

Несимметрия управляющих импульсов, вносимая самой системой из-за неидентичности каналов, не превышала 0,2 мкс ($0,0036^\circ$). При работе от сети разброс импульсов составлял не более 10 мкс ($0,18^\circ$).

1.2. Многоканальная синхронная система с синхронизацией от одной фазы (МСС 1) /4/

Система (рис. 1б) отличается от описанной в 1.1. тем, что для синхронизации берется напряжение только одной фазы анодной сети. Импульсы СУ один раз за период (20 мс) подстраивают частоту генератора Г, которая поддерживается равной 12-кратной частоте анодного напряжения. Импульсы генератора через распределитель Р поочередно запускают ГПН всех 12 каналов. Несимметрия управляющих импульсов при работе системы автоподстройки частоты генератора от сети не превышает 28 мкс ($0,5^\circ$).

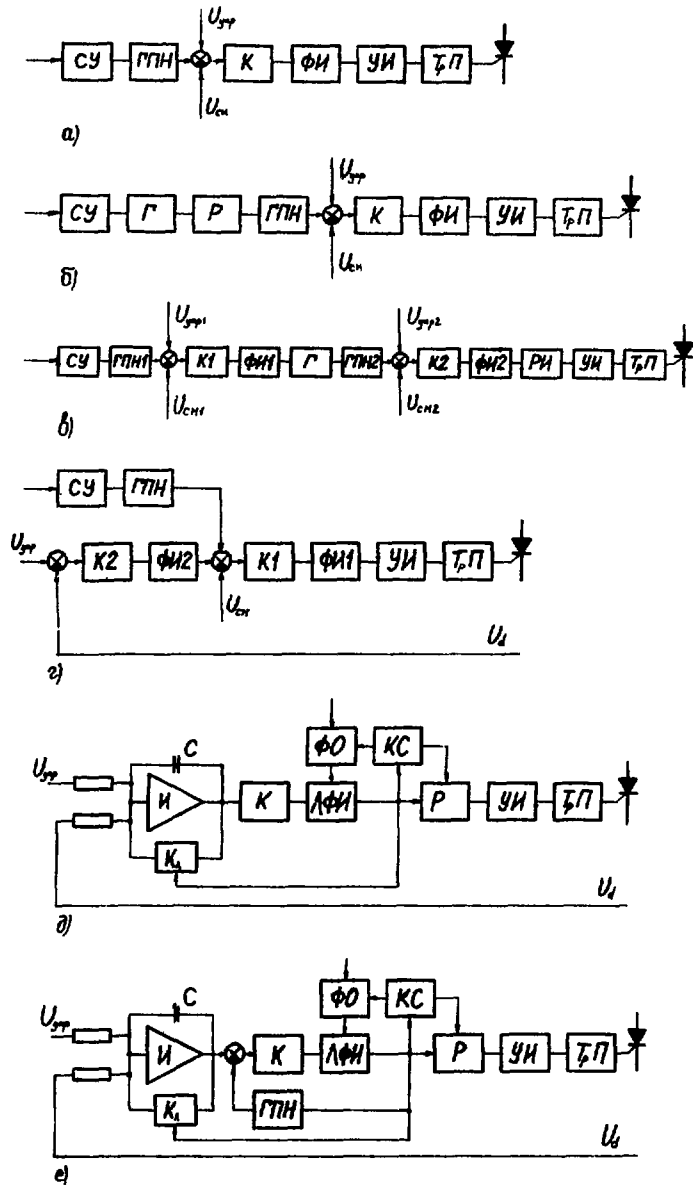


Рис. 1. Блок-схемы систем фазового управления: а) МСБ6, б) МСБ1, в) ОСБ, г) АСУМ, д) АСУИ, е) АСУП.

1.3. Одноканальная синхронная система (ОСС) /3/

Управляющий импульс "медленного" канала (рис. 1в), идентичного одному каналу МСС 6, один раз за период сети (20 мс) синхронизирует генератор 12-кратной частоты Γ , импульсы которого каждые 30° запускают ГПН2 так называемого "быстрого" канала. В нем опять происходит сравнение пилообразного напряжения с сигналом управления и формирование импульсов поджига, которые затем распределяются по тиристорам. Таким образом, "быстрый" канал осуществляет фазовый сдвиг импульсов генератора Γ в пределах тридцатиградусного интервала относительно значения угла поджига, вырабатываемого "медленным" каналом. Сигналы $U_{упр1}$ и $U_{упр2}$ представляют собой, соответственно, медленную и высокочастотную составляющие напряжения управления. Такая реализация одноканальной системы позволяет ей сохранять динамические свойства многоканальной СФУ в диапазоне, соответствующем изменению α на $\pm 15^\circ$.

1.4. "Мгновенная" асинхронная система (АСУМ) /5/

Так названа синхронная система с обратной связью по напряжению, которая в определенном диапазоне работает на асинхронном принципе (рис. 1г). Рабочая точка синхронного режима определяется $U_{см}$. В асинхронном режиме в момент равенства напряжения управления $U_{упр}$ и выходного напряжения преобразователя U_d выходные импульсы формирователя ФИ2 суммируются с $U_{см}$ и их пересечение с "пилой" определяет момент поджига. Соотношение амплитуды этих импульсов и "пилы" ограничивает диапазон работы в асинхронном режиме.

1.5. Асинхронная система с интегрированием ошибки рассогласования (АСУИ) /3/

Проинтегрированная ошибка рассогласования $\epsilon(t) = \frac{1}{RC} \int_{t_{i-1}}^t (U_{упр} - U_d) dt$, где t_{i-1} - момент подачи предыдущего импульса поджига, подается с выхо-

да интегратора на компаратор К, который вырабатывает следующий импульс при пересечении $\epsilon(t)$ нулевого уровня. Наличие интегратора в контуре обратной связи обеспечивает равенство опоры и средней величины выпрямленного напряжения преобразователя U_d .

Распределитель Р обеспечивает поочередное включение тиристорov в соответствии с состоянием кольцевого счетчика КС, который перебрасывается задним фронтом каждого поджигающего импульса и, таким образом, подготавливает к включению следующий тиристор. В зависимости от положения кольцевого счетчика фазовый ограничитель ФО, связанный с анодной сетью, вырабатывает для логического формирователя импульсов ЛФИ разрешающий сигнал на включение следующего тиристора, если угол поджига находится в допустимом интервале $[\alpha_{\text{MIN}}, \alpha_{\text{MAX}}]$. ЛФИ осуществляет задержку импульса компаратора до α_{MIN} , если он приходит раньше разрешающего сигнала, пропускает его в допустимом интервале и сам вырабатывает импульс на верхней границе интервала, если он не поступил. Одновременно с перебросом кольцевого счетчика конденсатор интегратора С разряжается через электронный ключ КЛ и интегратор возвращается в исходное состояние.

1.6. Асинхронная система с интегрированием ошибки рассогласования и вычитанием пилообразного напряжения (АСУП) /6/

Система (рис. 1е) отличается от АСУИ тем, что сигнал интегратора сравнивается с сигналом ГПН, который запускается управляющими импульсами. Скорость обработки возмущений и изменений управляющего сигнала получается максимальной при выборе наклона "пилы" равным производной сигнала интегратора в начале интервала между импульсами управления в установившемся состоянии. При большем наклоне "пилы" отклик системы замедляется, а при меньшем — становится колебательным. Чтобы избежать колебательного отклика при малых α , наклон "пилы" выбирается равным производной сигнала интегратора при $\alpha = 90^\circ$, когда она максимальна.

Таким образом, при других α получается замедленный отклик.

1.7. Асинхронная система с интегрированием ошибки рассогласования и вычитанием напряжения экспоненциальной формы (АСУЭ)^{/6/}

В отличие от АСУП здесь применен генератор экспоненциального напряжения. В течение первой половины периода следования импульсов происходит заряд емкостей генератора положительной полуволной переменной части выпрямленного напряжения, которая снимается с дросселя пассивного фильтра ТП. Так как амплитуда "пилы" будет уменьшаться с уменьшением переменной составляющей выпрямленного напряжения, то скорость отклика системы будет оптимизирована при различных α .

2. ВОЗДЕЙСТВИЕ АМПЛИТУДНОЙ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ТП

Субгармонические составляющие в спектре выпрямленного напряжения ТП обусловлены несимметрией напряжения питания, силовой части ТП, а также несимметрией, вносимой СФУ. Для уменьшения относительного влияния других факторов напряжение питания искажалось при помощи отпаек на стороне высокого напряжения анодных трансформаторов. При этом величина напряжения обратной последовательности была увеличена и составляла 5% от напряжения прямой последовательности.

Измерения субгармоник частоты 50, 100, 300 Гц проводились при различных токах нагрузки. В табл. 1 приведены результаты измерений относительного уровня субгармоник: $K_i = \frac{2U_{mi}}{U_{do}} \cdot 100\%$, где U_{mi} - амплитуда субгармоники i -кратности, U_{do} - напряжение холостого хода ТП при нулевом угле управления.

Для полной оценки возможностей синхронных систем, МСС6 исследовалась также в режиме с обратной связью по напряжению (в табл. МСС6Р). Разработанный регулятор типа И позволил реализовать АЧХ разомкнутого контура с частотой среза, близкой к 500 Гц.

Несимметрия напряжения питания ТП приводит к появлению только четных гармоник сетевой частоты^{/7/}. Основой для сравнения различных СФУ служит

величина K_2 субгармоники частоты 100 Гц, так как пассивный фильтр, предназначенный для подавления канонической гармоники 600 Гц, обладает достаточно большим коэффициентом подавления и для субгармоники с частотой 300 Гц, амплитуда которой примерно в 20 раз меньше.

Величина субгармоники частоты 50 Гц, обусловленная несимметрией СФУ, силовых вентилях ТП, нестабильностью $U_{\text{упр}}$ и наводками, для систем с обратной связью по напряжению пренебрежимо мала по сравнению с величиной четных гармоник 100 и 300 Гц.

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СФУ

Для исследования динамики систем на вход СФУ подавалось управляющее напряжение ступенчатой формы или синусоидальное частоты 50, 150, 300 Гц с постоянной составляющей. Ступенчатое воздействие было синхронизировано с сетью питания ТП для исследования влияния фазы его подачи на форму переходного процесса. В переходных процессах не наблюдается существенных отличий динамических свойств исследованных систем.

Осциллограммы выходного напряжения ТП при входном сигнале синусоидальной формы приведены на рис. 2. Разложение выходного напряжения в ряд Фурье позволяет сравнивать различные СФУ по их частотным свойствам. В табл. 2 приведены нормированный коэффициент передачи и фазовый сдвиг первой гармоники, а также коэффициент несинусоидальности отдельных СФУ на частотах 50, 150, 300 Гц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение результатов измерения процентного содержания субгармоники частоты 100 Гц в спектре выпрямленного напряжения в зависимости от тока нагрузки I_n (рис. 3) показывает преимущество систем с обратной связью, т.е. асинхронных и МССР. Лучшие результаты получены с МССР, незначительно ей уступает АСУП.

Относительное содержание субгармоник (%)

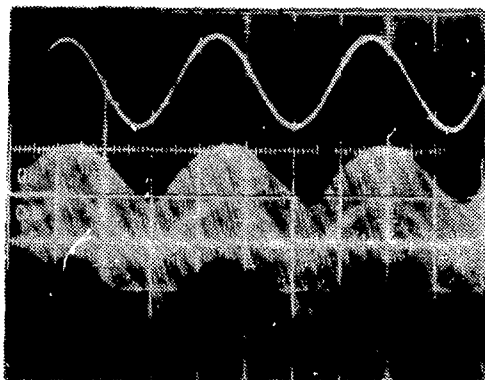
Таблица 1

f [Гц]	50					100					300				
	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
I _d /A/	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
МСС6	0,19	2,2	0,65	0,16	0,16	4,9	4,4	5,4	5,4	5,4	1,4	4,4	2,2	0,54	0,11
МСС1	0,49	0,47	0,33	0,38	1,6	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	0,54	0,44	0,44	0,38	2,5
ОСС	0,60	0,65	0,65	0,60	0,49	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,16	0,33	0,27	0,33	0,44
АСУМ	-	0,03	0,05	0,08	-	-	1,4	1,4	1,6	-	-	0,22	0,68	0,33	-
АСУИ	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	1,5	1,6	1,9	1,9	2,2	0,27	0,16	0,33	0,38	0,76
АСУП	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	0,54	0,11	0,33	0,49	1,1
АСУЭ	0,11	0,05	0,16	0,08	0,08	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	0,65	0,33	1,6	1,4	2,2
МСС6Р	0,02	0,08	0,22	0,01	0,04	0,95	0,95	1,4	1,4	1,6	4,4	2,7	4,1	3,3	3,3

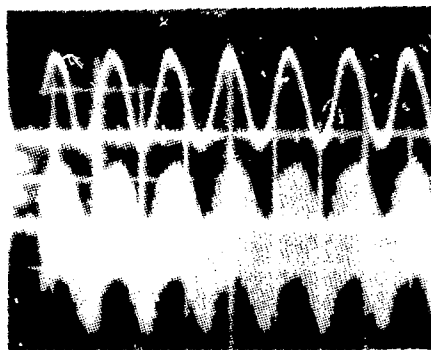
Таблица 2

Коэффициент передачи и фазовый сдвиг первой гармоники и коэффициент несинусоидальности

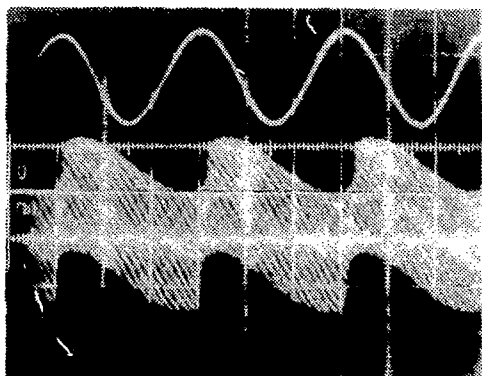
СФУ	K _н = K(f)/K(0)			-φ [град]			K _{нс}		
	50 Гц	100 Гц	300 Гц	50 Гц	100 Гц	300 Гц	50 Гц	100 Гц	300 Гц
МСС6	1,04	1,03	0,98	0,6	9	13	7,8	19	23
МСС6Р	1,16	1,35	1,38	13	23	111	5	22	54
МСС1Р	0,95	1,1	1,22	10	15	107	9,9	29	56
АСУИ	1,04	1,15	0,85	7	26	107	3,3	9,4	33
АСУП	1,03	1,25	1,17	1	27	103	6	16	43
АСУЭ	1,03	1,08	0,55	19	54	119	18	51	15



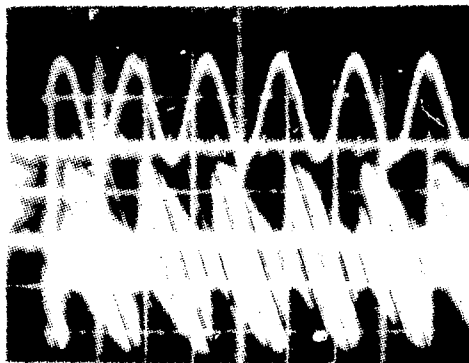
а



б



в



г

Рис. 2. Осциллограммы выходного напряжения ТП (нижний луч, 60 В/см) при входном сигнале синусоидальной формы (верхний луч, 0,5 В/см) а) $f = 150$ Гц, АСУП, б) $f = 150$ Гц, MCC1P, в) $f = 300$ Гц, АСУП, г) $f = 300$ Гц MCC1P.

На рис. 4 приведены логарифмические амплитудно- и фазочастотные характеристики систем. Эти характеристики позволяют оценить предельную частоту среза внешнего контура обратной связи, включающему в себя ТП с исследованными СФУ, которая не превышает величину 300 Гц.

Диапазон регулирования быстрого канала ОСС ограничивает скорость изменения управляющего сигнала, которая не должна превышать $\sim 0,1$

$\frac{U_{\text{упр.мах}}}{U_{\text{сет.}}}$ за период сетевого напряжения.

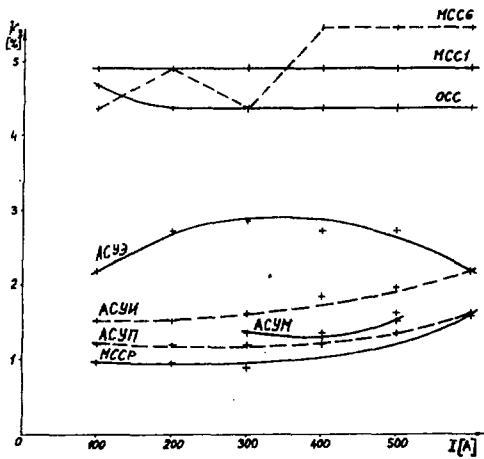


Рис. 3. Содержание субгармоника частоты 100 Гц в выпрямленном напряжении в зависимости от тока нагрузки.

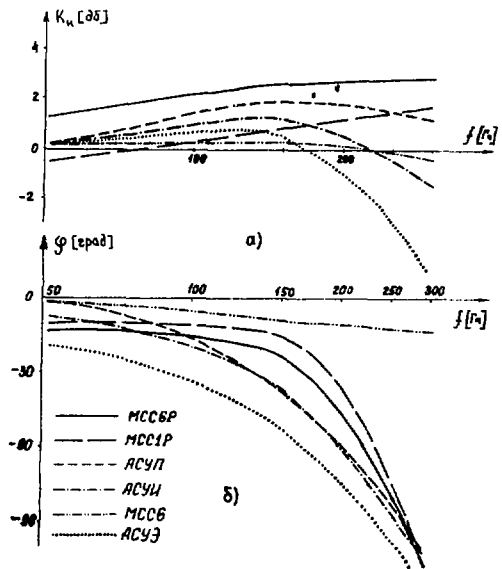


Рис. 4. Логарифмические а) амплитудные и б) фазочастотные характеристики ТП с различными СФУ.

По всем исследованным параметрам лучшие показатели имеют МССР, АСУП, АСУИ, причем, если по содержанию субгармоника частоты 100 Гц предпочтение следует отдать МССР, то по другим субгармоникам и динамическим свойствам некоторое преимущество на стороне асинхронных систем.

Полученные результаты позволяют произвести выбор СФУ для различных ТП физических установок УНК в зависимости от предъявляемых к ним требований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.И.Агеев, В.И.Балбеков и др. Препринт ИФВЭ 80-96, Серпухов, 1980.
2. В.И.Балбеков, Ю.П.Дмитревский и др. Препринт ИФВЭ 78-134, Серпухов, 1978.
3. А.Л.Писарев, П.П.Деткин. Управление тиристорными преобразователями. М., "Энергия", 1975.
4. L.Coull. A cheap, simple, and accurate gate control set for beam transport power supplies. Preprint CERN 71-2, Geneva, 1971.
5. Б.В.Казьмин, Ю.А.Федоров. Труды МЭИ, вып. 436, М., 1979, с.42-45.
6. H.C.Appelo, S.van der Meer. The SPS auxiliary magnet power supplies. Preprint CERN 77-12, Geneva, 1977.
7. С.Г.Попов. Неканонические гармоники напряжения тиристорного преобразователя. "Электричество", № 6, 1979.

Рукопись поступила в издательскую группу
1 декабря 1981 года.



Цена 7 коп.

© - Институт физики высоких энергий, 1982.

Издательская группа И Ф В Э

Заказ 1251. Тираж 250. 0,5 уч.-изд.л. Т-00257.

Январь 1982. Редактор Н.П. Ярба