

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С348ж

П-58

3900/2-77

26/ix-77

13 - 10640

А.К.Попов, Ким Ун Чан, А.А.Омельяненко,
Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Г.П.Жуков,
В.И.Константинов, С.К.Николаев

РЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА ФАЗИРОВАНИЯ
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКОВОГО СЕЛЕКТОРА
С ПРИВОДОМ ОТ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1977

13 - 10640

А.К.Попов, Ким Ун Чан, А.А.Омельяненко,
Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Г.П.Жуков,
В.И.Константинов, С.К.Николаев

РЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА ФАЗИРОВАНИЯ
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКОВОГО СЕЛЕКТОРА
С ПРИВОДОМ ОТ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Релейная система фазирования вращающегося дискового селектора с приводом от асинхронного электродвигателя

Описана система регулирования, обеспечивающая вращение массивного дискового селектора синфазно с вращающимся модулятором реактивности импульсного реактора. В отличие от общепринятого для аналогичных задач пропорционального принципа регулирования и использования двигателя постоянного тока, в рассматриваемой системе использован асинхронный короткозамкнутый электродвигатель и применен релейный принцип регулирования. Посредством тиристорного управления двигателем в системе достаточно просто реализуются два режима ускорения селектора (сильный и слабый разгон) и два режима замедления (сильное и слабое торможение). Моменты переключения двигателя с одного режима работы на другой обуславливаются регулируемой величиной и ее производной.

Рассмотренная система проста в обслуживании, мало чувствительна к колебаниям напряжения сети. В диапазоне значений периода селектора от 80 до 200 мс среднеквадратическое значение угла рассогласования между селектором и реактором не хуже $\pm 1^\circ$.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Селектор /прерыватель нейтронного пучка/ представляет собой диск, на периферии которого вырезано окно. Селектор работает совместно с импульсным реактором. Генерируемые реактором нейтроны в виде нейтронных сгустков проходят по нейтроноводу. Установленный на пути нейтронов селектор должен вращаться таким образом, чтобы пропускать лишь часть нейтронов из этих сгустков - нейтроны, энергия которых лежит в некотором диапазоне, представляющем интерес для экспериментатора. Это обеспечивается системой автоматического регулирования селектора. На валу селектора и на валу модулятора реактивности реактора установлены датчики оборотов. Селекторный датчик генерирует некоторое наперед выбранное количество реперных импульсов за один оборот /за период/ селектора, а реакторный - в два раза большее количество опорных импульсов за период следования нейтронных импульсов. Период следования нейтронных импульсов /а следовательно, и период импульсов реакторного датчика/ поддерживается на стабильном уровне с помощью автономной системы регулирования скорости вращения модулятора реактивности реактора.

Из последовательности опорных импульсов реакторного датчика формируется последовательность реперных реакторных импульсов, смещенных относительно опорных реакторных импульсов на желаемый интервал времени.

Система управления селектором должна обеспечить такое синфазное вращение селектора относительно модулятора реактивности, чтобы смещение реперных селекторных импульсов относительно реперных реакторных импульсов в среднем укладывалось в заданный диапазон.

Система должна обеспечивать синфазность вращения селектора при различных значениях его периода /от 0,08 до 0,2 с/.

Особенностью системы является то, что в качестве приводного двигателя селектора принят асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором*. Такой двигатель практически не требует обслуживания в процессе работы, что очень важно, так как селектор располагается в радиационно опасной зоне.

Для устранения люфтов с их отрицательным влиянием на точность системы диск селектора жестко /без применения редуктора и эластичной муфты/ соединен с ротором двигателя.

ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ

Для обеспечения синфазного вращения селектора принят простейший в реализации релейный принцип /"разгон - торможение"/, осуществляемый посредством тиристорного управления асинхронным двигателем /рис. 1а/.

Для ослабления колебательности переходных процессов предусмотрены два режима разгона: резкий /сильный/ и более плавный /слабый/, а также два аналогичных режима торможения.

Движение селектора описывается дифференциальным уравнением

$$J \frac{d^2 \phi}{dt^2} = M_g - M_c, \quad /1/$$

где ϕ - отклонение угла поворота селектора от требуемого значения, обусловленного реперными реакторными импульсами, которое в дальнейшем будет именоваться

* Общепринятой является система с двигателем постоянного тока

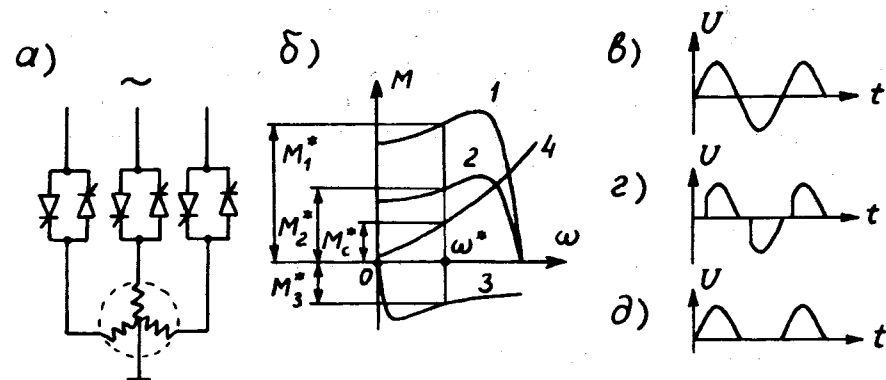


Рис. 1. а - схема включения двигателя; б - зависимость моментов M двигателя и нагрузки от скорости ω ; в, г, д - напряжение U на фазе двигателя соответственно при сильном и слабом разгоне и при сильном торможении / t - время/.

просто фазой селектора; J - момент инерции вращающихся частей селектора; M_c - момент сопротивления /нагрузки/; M_g - момент, развиваемый двигателем.

Таким образом, фаза селектора является функцией разности моментов $M_g - M_c$, называемой динамическим моментом. Рис. 1б, на котором изображены кривые зависимости моментов от скорости ω асинхронного двигателя, поясняет, как для некоторой скорости селектора ω^* реализуются четыре режима работы двигателя. Кривая 4 соответствует статическому моменту нагрузки. Два режима разгона достигаются путем изменения фазы включения тиристоров, в результате чего на двигатель подается трехфазное напряжение или с большим эффективным значением U_1 /рис. 1в/, или с меньшим U_2 /рис. 1г/. Этим значениям напряжения соответствуют кривые моментов 1 и 2. Слабое торможение достигается отключением двигателя от сети, а сильное - динамическим торможением двигателя путем запираания всех тиристоров, кроме одного, в результате чего к одной из фаз двигателя подводится выпрямленное пульсирующее напряжение /рис. 1д/. Этому режиму соответствует кривая моментов 3 на рис. 1б. Эффективное значение

напряжения, подаваемого на двигатель /см. рис. 1в,г,д/, устанавливается на желаемом фиксированном уровне путем уставки соответствующей фазы включения тиристоров. Для каждого из указанных четырех режимов динамический момент, стоящий в правой части уравнения /1/, соответственно равен:

$$M_1^* - M_c^*, \quad M_2^* - M_c^*, \quad -M_c^*, \quad -M_3^* - M_c^* .$$

Переход с одного режима работы двигателя на другой должен осуществляться в зависимости от сигнала управления Δ , представляющего собой алгебраическую сумму фазы селектора ϕ и ее производной $d\phi/dt$ с соответствующими весами /коэффициентами пропорциональности/ $k_1 > 0$ и $k_2 > 0$:

$$\Delta = k_1 \phi + k_2 \frac{d\phi}{dt} . \quad /2/$$

Работу релейной системы удобно отобразить фазовым портретом. Без учета запаздывания между напряжением и током двигателя и запаздывания в переключении с одного режима на другой работа релейной системы упрощенно, но очень наглядно отображается на фазовой плоскости /рис. 2/. Линии переключения 1 и 2 разделяют фазовую плоскость на четыре области, каждая из которых характеризуется определенным режимом работы двигателя и, следовательно, определенным видом фазовых траекторий.

Область А /рис. 2/ соответствует сильному торможению, область В - слабому, область С - сильному разгону, область D - слабому. Линии переключения 1 соответствует уравнение

$$\frac{d\phi}{dt} = 0, \quad /3а/$$

а линии 2 - уравнение

$$\Delta = 0. \quad /3б/$$

Переключение с режима сильного на режим слабого торможения и с режима сильного разгона на режим слабого разгона позволяет уменьшить перерегулирование.

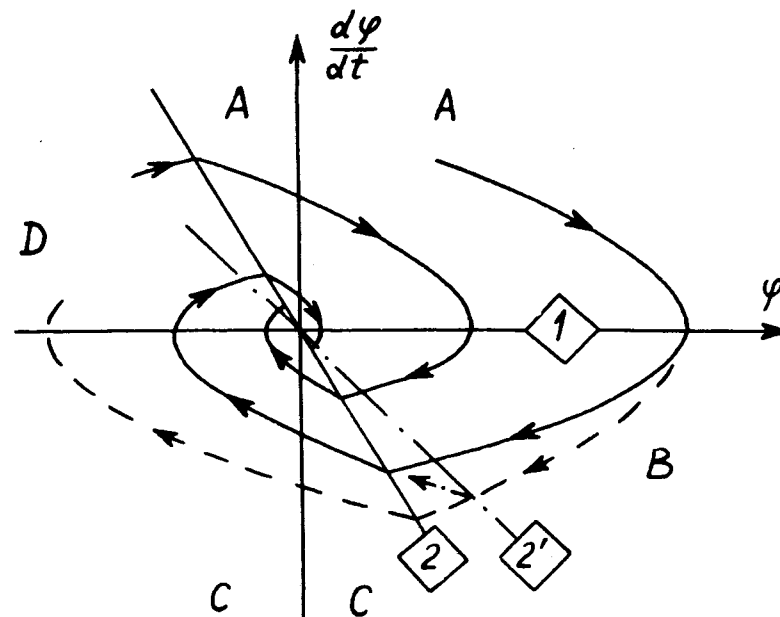


Рис. 2. Фазовый портрет системы. По оси абсцисс - фаза селектора, по оси ординат - скорость изменения фазы селектора.

Для сравнения на рис. 2 пунктиром показана фазовая траектория, соответствующая лишь двум режимам работы двигателя - сильному разгону и сильному торможению.

Уменьшению перерегулирования способствует также увеличение относительного веса производной в сигнале управления Δ , т.е. увеличение отношения k_2/k_1 . На фазовой плоскости это отразится в уменьшении наклона линии переключения 2 /из положения 2 она перейдет, например, в положение 2'/.

Алгоритм, согласно которому действует система регулирования, записан в виде табл. 1. Согласно этому алгоритму, режим работы двигателя определяется знаком фазы селектора ϕ и ее производной $d\phi/dt$, а также соотношением их модулей.

Таблица 1

Алгоритм регулирования фазы селектора

		$k_1 \phi > k_2 \left \frac{d\phi}{dt} \right $	$k_1 \phi < k_2 \left \frac{d\phi}{dt} \right $
$\phi > 0, \frac{d\phi}{dt} > 0$	Сильное торможение		
$\phi > 0, \frac{d\phi}{dt} < 0$	Слабое торможение	Сильный разгон	
$\phi < 0, \frac{d\phi}{dt} < 0$	Сильный разгон		
$\phi < 0, \frac{d\phi}{dt} > 0$	Слабый разгон	Сильное торможение	

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Функциональная схема системы регулирования приведена на рис. 3.

Опорные импульсы реактора поступают на блок 1, который преобразует их в три параллельные последовательности импульсов Р, Р', Р+Р'. Последовательности Р и Р' - чередующиеся, причем периоды их должны совпадать с периодом селекторных импульсов. Блок 1 имеет регулируемую задержку. Импульсы селекторного датчика оборотов 20 поступают на формирователь 1'.

Блоки 2 и 3 представляют собой генераторы импульсов с регулируемыми периодами. Регулировка осуществляется коммутатором 4.

Модуль фазы селектора /угла рассогласования/ ϕ с весовым множителем k_1 вырабатывается блоком 5. Для этого временной интервал между импульсами Р' и

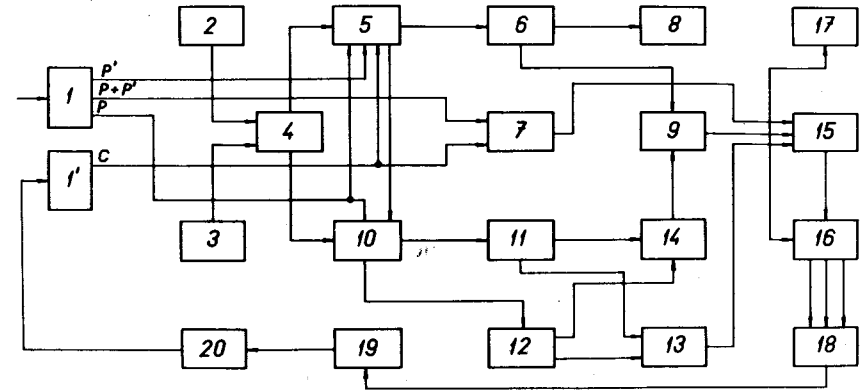


Рис. 3. Функциональная схема системы регулирования.

1,1' - соответственно блоки реакторных и селекторных реперных импульсов; 2, 3 - соответственно генераторы заполняющих импульсов для задания коэффициентов k_1 и k_2 ; 4 - коммутатор; 5 - блок формирования $|k_1\phi|$; 6 - адресный регистр; 7 - блок формирования знака ϕ ;

8 - индикация ϕ ; 9 - блок сравнения $|k_1\phi|$ и $|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$;

10 - блок формирования $|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$; 11, 12 - соответственно адресные регистры для $|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$ в n -м и $(n+1)$ -м тактах; 13 - блок формирования знака $\frac{d\phi}{dt}$;

14 - блок поочередного подключения регистров; 15 - блок формирования знака сигнала управления; 16 - блок формирования команд для управления двигателем; 17 - блок вывода двигателя на рабочую скорость; 18 - тиристорный блок; 19 - короткозамкнутый асинхронный двигатель; 20 - датчик оборотов селектора.

С /или С и Р' / заполняется серией импульсов с периодом T_1 , поступающих с генератора 2 через коммутатор 4. Пачка импульсов поступает на адресный регистр 6, который регистрирует значение $|k_1\phi|$. Знак фазы селектора вырабатывается блоком 7. Для выработки величины

$|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$ временной интервал между импульсами Р' и

С /или С и Р' / заполняется серией импульсов с периодом T_2 , поступающих с генератора 3 через коммутатор 4. Пачки импульсов поступают на блок 10, представляющий собой два реверсивных счетчика. Последовательность работы этих счетчиков такова. В течение n -го периода в первом счетчике производится запись величины $|k_2 \phi|_n$; во втором - вычитание этой величины из записанной в него в $(n-1)$ -м периоде величины $|k_2 \phi|_{n-1}$, затем производится опрос и далее сброс информации. В течение $(n+1)$ -го периода в первом счетчике вычитается величина $|k_2 \phi|_{n+1}$ из записанной в него ранее величины $|k_2 \phi|_n$, затем идет опрос результата и сброс информации; во втором счетчике производится запись величины $|k_2 \phi|_{n+1}$. В $(n+2)$ -м периоде работа счетчиков аналогична их работе в n -м периоде и т.д. В результате

на выходе блока 10 вырабатывается модуль $|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$.

Знак $\frac{d\phi}{dt}$ вырабатывается блоком 13. Так как значения

$|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$ формируются каждым счетчиком за два пе-

риода, то информация с двух адресных регистров 11 и 12 поступает на блок 9 через схему поочередного подключения регистров 14. Блок 9 сравнивает модули

$|k_1 \phi|$ и $|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$ и выдает результат сравнения в виде

знака. Коэффициенты k_1 и k_2 определяются периодами заполняющих импульсов T_1 и T_2 и периодом реперных импульсов селекторного датчика $T_{сг}$. Если ϕ представ-

ляется временным интервалом, то $k_1 = \frac{1}{T_1}$, $k_2 = \frac{T_{сг}}{T_2}$.

Знак ϕ , знак $\frac{d\phi}{dt}$ и знак сравнения модулей $|k_1 \phi|$ и

$|k_2 \frac{d\phi}{dt}|$ поступают на блок выработки сигнала управ-

ления 15, на выходе которого формируется знак сум-

мы $\Delta = k_1 \phi + k_2 \frac{d\phi}{dt}$. В зависимости от знака Δ и

знака $\frac{d\phi}{dt}$ блок 16 формирует четыре команды: разгон

сильный или слабый, торможение сильное или слабое.

Эти команды поступают на тиристорный блок 18, где формируются импульсы для фазового управления тиристорами. В результате тиристорный блок осуществляет управление асинхронным двигателем 19.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ФАЗЫ СЕЛЕКТОРА

Исследование проводилось на селекторе, диск которого посажен жестко на вал асинхронного двигателя АОЛ2-12-4 /0,8 кВт, 220/380 В, 1350 об/мин/. Момент инерции вращающихся частей составлял 0,05 кгмс². Поскольку номинальный момент, развиваемый двигателем селектора, намного превышал требуемую величину, то, с учетом квадратичной зависимости момента двигателя от напряжения, на двигатель подавалось напряжение не непосредственно от сети, а через понижающий трансформатор. Отношение эффективного значения напряжения, соответствующего слабому разгону, к эффективному значению напряжения, соответствующего сильному разгону, было выбрано равным 0,5.

Для различных периодов вращения селектора исследовалось влияние на точность стабилизации различных факторов: величины напряжения, подводимого к двигателю; значения весовых множителей k_1 и k_2 в сигнале управления Δ ; количества реперных импульсов, генерируемых датчиком оборотов селектора за один его оборот.

Точность стабилизации исследовалась для двух вариантов задающих опорных импульсов. В одном варианте в качестве задающего использовался генератор импульсов стабильной частоты, а в другом - датчик оборотов реактора ИБР-30.

С помощью временного анализатора с шириной канала 8 мкс регистрировалось распределение значений

интервала времени между реперными реакторными и реперными селекторными импульсами /распределение фазы селектора/. Типичный вид такого распределения показан на рис. 4. Несимметричный вид распределения обусловлен тем, что модули динамических моментов в режимах разгона и торможения были выбраны неодинаковыми.

Точность стабилизации оценивалась среднеквадратическим отклонением фазы селектора от среднего значения.

Результаты исследования отражены в табл. 2-4. Среднеквадратические отклонения, приведенные в них, даны как в мс, так и в градусах, характеризующих угловое отклонение селектора от среднего значения, обусловленного датчиком опорных импульсов.

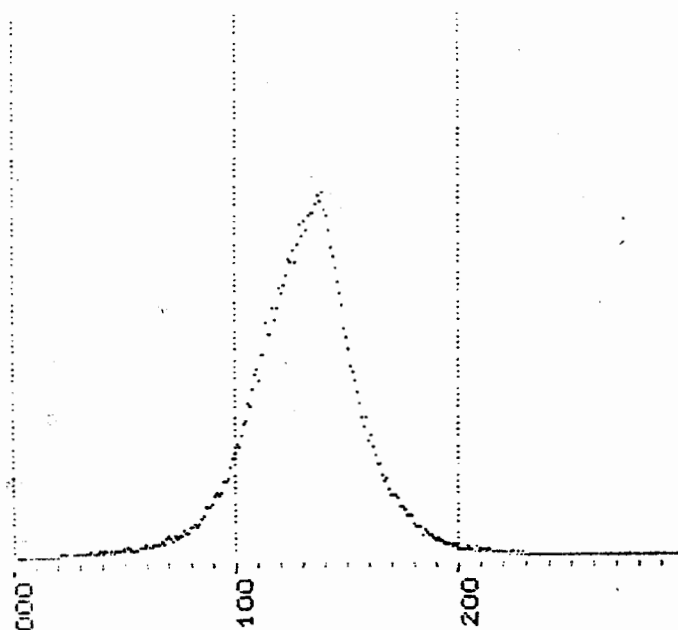


Рис. 4. Распределение фазы селектора, соответствующее варианту, отмеченному в табл. 4 звездочкой. По оси абсцисс - номер канала временного анализатора /ширина канала 8 мкс/, по оси ординат - счет в каналах в линейном масштабе.

Таблица 2

Среднеквадратическое отклонение фазы селектора в мс /градусах/ при периоде селектора 200 мс и при использовании в качестве датчика опорных импульсов стабильного генератора

Период заполнения импульсов в мс для вычисления сигнала, пропорционального модулю	Количество реперных импульсов селектора за один оборот селектора								
	18				9				
	Эффективное значение напряжения на двигателе в режиме быстрого разгона в В								
Фазы селектора	производной фазы селектора	50	60	70	80	50	60	70	80
0,7	0,005	0,24 (0,43)	0,24 (0,43)	0,34 (0,61)	0,34 (0,61)	0,2 (0,36)	0,22 (0,4)	0,31 (0,56)	0,32 (0,58)
	0,0015	0,31 (0,56)	0,4 (0,72)	0,44 (0,79)	0,45 (0,81)	0,26 (0,47)	0,32 (0,58)	0,32 (0,58)	0,38 (0,69)

Таблица 3

Среднеквадратическое отклонение фазы селектора в мс /градусах/ при периоде селектора 100 мс и при использовании в качестве датчика опорных импульсов стабильного генератора

Период заполнения импульсов в мс для вычисления сигнала, пропорционального модулю	Количество реперных импульсов селектора за один оборот селектора								
	9				4,5				
	Эффективное значение напряжения на двигателе в режиме быстрого разгона в В								
Фазы селектора	производной фазы селектора	50	60	70	80	50	60	70	80
0,7	0,005	0,2 (0,72)	0,21 (0,76)	0,23 (0,83)	0,23 (0,83)	0,19 (0,69)	0,18 (0,65)	0,24 (0,87)	0,24 (0,87)
	0,0015	0,21 (0,76)	0,22 (0,79)	0,27 (0,97)	0,3 (1,08)	0,22 (0,79)	0,28 (1,01)	0,3 (1,08)	0,24 (0,87)

Таблица 4

Среднеквадратическое отклонение фазы селектора в мс /градусах/ при использовании в качестве датчика опорных импульсов реактора ИБР-30

Период заполнения импульсов в мс для вычисления сигнала, пропорционального модулю		Период селектора в мс							
		200				100			
		Количество реперных импульсов селектора за один оборот селектора							
		9				4,5			
		Эффективное значение напряжения на двигателе в режиме быстрого разгона в В							
Фазы селектора	производной фазы селектора	50	60	70	80	50	60	70	80
0,7	0,005	0,24 (0,43)	0,23 ²⁾ (0,41)	0,3 (0,54)	0,3 (0,54)	0,13 (0,47)	0,1 (0,36)	0,13 (0,47)	0,13 (0,47)
	0,0015	0,32 (0,58)	0,38 (0,69)	0,36 (0,65)	0,36 (0,65)	0,16 (0,58)	0,18 (0,65)	0,22 (0,79)	0,22 (0,79)

ВЫВОДЫ

1. В диапазоне значений периода селектора от 80 до 200 мс система регулирования обеспечила стабилизацию фазы селектора со среднеквадратическим отклонением не хуже 1° , что удовлетворяет предъявляемым к системе требованиям. Минимизация среднеквадратического отклонения достигается подбором значений коэффициентов k_1 и k_2 в сигнале управления.

2. Среднеквадратическое отклонение, достигая минимума при определенном значении напряжения, тем не менее, зависит от напряжения достаточно слабо. Поэтому система малочувствительна к колебаниям напряжения сети.

3. Наилучшая точность стабилизации фазы селектора наблюдается при таком количестве реперных импульсов селектора за один его оборот, при котором период селекторных реперных импульсов близок периоду сети, равному 0,02 с. При меньшем периоде реперных селекторных импульсов /т.е. при большем количестве импульсов, генерируемых за один оборот селектора/ среднеквадратическое отклонение существенно не изменяется. При большем периоде реперных селекторных импульсов наблюдается заметное ухудшение точности.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 мая 1977 года.