

УДК 615.47

Е.И. СОКОЛ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

А.В. КИПЕНСКИЙ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

Е.И. КОРОЛЬ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

В.А. ВЕРЕЩАК, аспирант, НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Оценку качества синусоидальных модулированных токов (СМТ), используемых в лечебных целях, предложено производить по ряду параметров. Рассмотрены варианты реализации генераторов СМТ и влияние возмущающих факторов на параметры их выходных сигналов. Предложен комплексный показатель оценки влияния возмущающих факторов на параметры СМТ и произведен сопоставительный анализ различных схем генераторов.

Оцінку якості синусоїдальних модульованих струмів (СМС), що використовуються з метою лікування, запропоновано здійснювати згідно низки параметрів. Розглянуті варіанти реалізації генераторів на СМС та вплив збурюючих факторів на параметри їх вихідних сигналів. Запропоновано комплексний показник оцінки впливу збурюючих факторів на параметри СМС та здійснено співставний аналіз різних схем генераторів.

Appraisal of quality of sinusoidal modulated currents (SMC) used in medicine was proposed to be made against several parameters. Considered were alternative versions of SMC oscillators and the effect of perturbing factors on parameters of their output signals. Complex quality appraisal index of

the effect of perturbing factors on SMC was offered and contrastive analysis of different oscillator circuits.

Введение

В медицинской практике синусоидальные модулированные токи (СМТ) используются для лечебного воздействия (метод – амплипульстерапия) на организм и обладают нейромюстимулирующим, анальгетическим, сосудорасширяющим и трофическим эффектами [1, 2]. В качестве генераторов СМТ используются специальные электротерапевтические аппараты [3]. Для достижения требуемого терапевтического эффекта при проведении процедур амплипульстерапии варьируют частотами несущего и модулирующего сигналов, коэффициентом модуляции, продолжительностью серий и пауз, силой тока (среднеквадратичное значение) при различных видах воздействия (роды работы) и режимах.

Следует отметить, что в электротерапевтических аппаратах параметры генераторов СМТ могут отличаться от расчетных значений, изменяться во времени и зависеть от различных возмущающих факторов, что, в свою очередь, оказывает влияние на параметры формируемых токов. Очевидно, что при отклонении параметров СМТ от заданных значений требуемый терапевтический эффект может быть не обеспечен.

Цель данной работы состоит в анализе качества формирования СМТ при наличии влияния различных возмущающих факторов.

При анализе качества формирования СМТ особое внимание следует обратить на те параметры сигнала, которые в наибольшей степени определяют его терапевтическую эффективность [4]:

- частоты несущего и модулирующего колебаний, коэффициент амплитудной модуляции, которые позволяют оценить соответствие оказываемого воздействия рекомендуемой методике, в которой оговариваются данные параметры сигнала;
- амплитуда основной гармоники, позволяет оценить долю высших гармоник, а соответственно и их эффективность в формируемом сигнале;
- действующее значение и амплитуда сигнала, позволяют оценить интенсивность оказываемого воздействия;
- гармонический состав, который определяет физиологическое воздействие сигнала на пациента.

1 Генераторы СМТ

СМТ, используемые в амплипульстерапии, представляют собой амплитудно-модулированные гармонические сигналы (АМ-сигналы), которыми принято называть сигналы с переменной амплитудой $U_m(t)$ и неизменной частотой f и фазой ψ [3]. Выражение, описывающее АМ-сигнал, в общем случае имеет вид

$$u_{AM}(t) = U_m(t) \sin(2\pi f t + \psi), \quad (1)$$

где $U_m(t)$ – модулирующий сигнал;
 $\sin(2\pi f t + \psi)$ – гармоническое заполнение (несущий сигнал).

При произвольном значении коэффициента амплитудной модуляции АМ-сигнал будет описываться выражением:

$$u_{AM}(t) = U_m [1 + K_M \sin(2\pi f_M t)] \sin(2\pi f_H t), \quad (2)$$

где K_M – коэффициент амплитудной модуляции;
 f_M – модулирующая частота;
 f_H – несущая частота.

Выражение (2) может быть представлено как сумма простых гармонических колебаний с различными частотами

$$u_{AM}(t) = U_m \sin(2\pi f_H t) + \frac{U_m K_M}{2} \cos[2\pi(f_H - f_M)t] - \frac{U_m K_M}{2} \cos[2\pi(f_H + f_M)t], \quad (3)$$

где $f_H - f_M$ – нижняя боковая частота;
 $f_H + f_M$ – верхняя боковая частота.

Таким образом, формирование АМ-сигнала с произвольным значением коэффициента модуляции может быть реализовано двумя способами.

В соответствии с первым способом АМ-сигнал получают путем *перемножения двух гармонических сигналов* (см. выражение (2)). При этом схема генератора для реализации первого способа будет иметь вид, приведенный на рис. 1. Здесь частота генератора гармонического сигнала ГГС1 должна быть равна частоте модулирующего сигнала $f_1 = f_M$, а частота генератора ГГС2 – равна частоте несущего сигнала $f_2 = f_H$. Дискретный аттенюатор ДА используется для изменения амплитуды модулирующего сигнала при изменении сигнала задатчика коэффициента модуляции $ЗК_M$. Сумматор Σ позволяет ввести в сигнал постоянную составляющую, равную U_m . Для перемножения двух сигналов служит аналоговый перемножитель сигналов АПС.

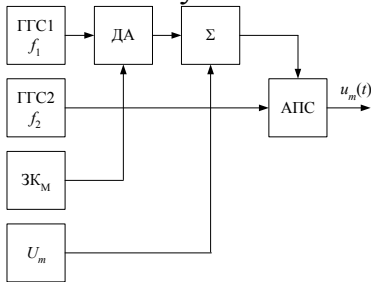


Рис. 1 Схема генератора АМ-сигнала с произвольным значением коэффициента модуляции на базе АПС

Второй способ формирования АМ-сигнала заключается в *суммировании трех гармонических сигналов* (см. (3)). Схема генератора для реализации второго способа приведена на рис. 2. Здесь частота генератора гармонического сигнала ГГС1 должна быть равна частоте несущего сигнала $f_1 = f_H$, частота генератора ГГС2 – равна нижней боковой частоте $f_2 = f_H - f_M$, а частота генератора ГГС3 – равна верхней боковой частоте $f_3 = f_H + f_M$.

Дискретные аттенюаторы ДА1 и ДА2 позволяют изменять значение коэффициента модуляции при изменении сигнала задатчика $ЗК_M$. Сумматор Σ служит для сложения всех трех сигналов.

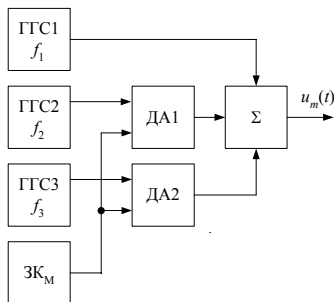


Рис. 2 Схема генератора АМ-сигнала с произвольным значением коэффициента модуляции на базе сумматора сигналов

Для определения параметров сигналов, формируемых при помощи рассмотренных генераторов, в программно-математическом пакете MatCad были реализованы соответствующие модели. Схеме генератора АМ-сигнала на базе АПС (1-й способ реализации), приведенной на рис. 1, соответствует выражение:

$$y_j := f \left[\left(ym \left(j \cdot \frac{1}{Fd} \right) + 1 \right) \cdot yn \left(j \cdot \frac{1}{Fd} \right) \right], \quad (4)$$

где:

$f(x) := (1 - \text{err}) \cdot x$ – функция ошибки аналогового перемножителя сигналов;

$ym(t) := K_m U_m \cdot \sin(2 \cdot p \cdot F_m \cdot t)$ – выходной сигнал ГГС1;

$yn(t) := U_m \cdot \sin(2 \cdot p \cdot F_n \cdot t)$ – выходной сигнал ГГС2.

Схеме генератора АМ-сигнала на базе сумматора (1-й способ реализации), приведенной на рис. 2, соответствует выражение:

$$y_j := y_{y1}\left(j \cdot \frac{1}{F_d}\right) + y_{y2}\left(j \cdot \frac{1}{F_d}\right) + y_{y3}\left(j \cdot \frac{1}{F_d}\right), \quad (5)$$

где:

$y_{y1}(t) := U_n \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_n \cdot t)$ – выходной сигнал ГГС1;

$y_{y2}(t) := \frac{K_m U_m}{2} \cdot \sin[2 \cdot \pi \cdot F_2 \cdot t]$ – выходной сигнал ГГС2;

$y_{y3}(t) := \frac{K_m U_m}{2} \cdot \sin[2 \cdot \pi \cdot F_3 \cdot t]$ – выходной сигнал ГГС3;

$F_2 := F_n - F_m$ – частота выходного сигнала ГГС2;

$F_3 := F_n + F_m$ – частота выходного сигнала ГГС3.

При условии полного соответствия рассмотренных генераторов их моделям (идеальные генераторы), АМ-сигналы в обоих случаях будут иметь одинаковую форму. Один из таких сигналов приведен на рис. 3, а его параметры сведены в табл. 1. Параметры сигнала определялись в пакете MatCad при частоте дискретизации $F_d := 500000$.

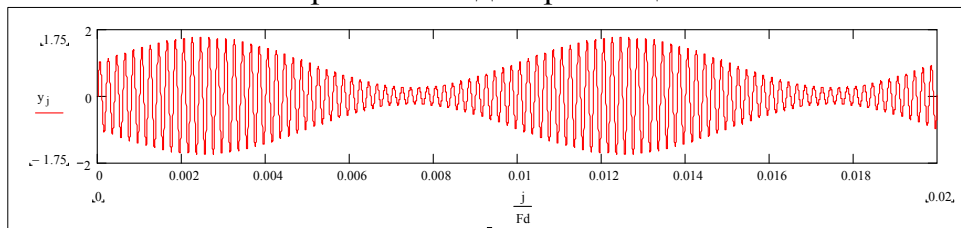


Рис. 3. Эталонный АМ-сигнал, формируемый идеальным генератором

Таблица 1

Параметры эталонного АМ-сигнала

Название	Обозначение	Значение
Частота несущего колебания	F_n	5000
Частота модулирующего колебания	F_m	100
Коэффициент модуляции	K_m	0,75
Амплитуда основной гармоники	G_{max}	49,993
Амплитуда сигнала	U_m	1,75
Действующее значение сигнала	U	0,8

В дальнейшем, анализируя качество формирования СМТ при наличии влияния различных возмущающих факторов, этот сигнал (рис. 3, табл. 1) будем использовать в качестве эталонного. Отклонения от эталонного сигнала будем оценивать по следующим критериям, выраженным в процентах:

- dF_n – отклонение частоты несущего колебания;
- dF_m – отклонение частоты модулирующего колебания;
- dK_m – отклонение коэффициента амплитудной модуляции;
- dG_{max} – отклонение амплитуды основной гармоники;
- dU – отклонение действующего значения сигнала;
- d_{max} – отклонение амплитуды АМ-сигнала;
- dG – среднеквадратическое отклонение гармонического состава.

Для расчета критериев во всех случаях будем использовать выражение

$$dP = \frac{|P - P_\phi|}{P} \cdot 100 \%,$$

где P – значение параметра эталонного АМ-сигнала;

P_ϕ – фактическое значение параметра АМ-сигнала при наличии влияния возмущающих факторов.

2 Влияние возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала генератора с АПС

В процессе анализа в качестве возмущающих факторов, оказывающих влияние на параметры АМ-сигнала в генераторе на базе АПС (см. рис. 1), рассматривались:

- Δf_1 – отклонение частоты генератора модулирующего сигнала ГГС1;
- ΔU_{m1} – отклонение амплитуды генератора модулирующего сигнала ГГС1;
- Δf_2 – отклонение частоты генератора несущего сигнала ГГС2;
- ΔU_{m2} – отклонение амплитуды генератора несущего сигнала ГГС2;
- $\Delta \text{АПС}$ – ошибка аналогового перемножителя сигналов.

В результате проведенных исследований генератора на базе АПС были определены основные варианты комбинаций возмущающих факторов, которые приводят к наибольшим изменениям параметров АМ-сигналов (см. табл. 2).

Таблица 2

Варианты комбинаций возмущающих факторов, оказывающих наибольшее влияние на параметры АМ-сигнала генератора на базе АПС

Вариант	ГГС1		ГГС2		$\Delta \text{АПС}$
	Δf_1	ΔU_{m1}	Δf_2	ΔU_{m2}	
В1	– 2 %	0	0	0	0
В2	+ 2 %	0	+ 2 %	0	0
В3	0	0	+ 2 %	0	0
В4	0	+ 5 %	0	– 5 %	0
В5	+ 2 %	0	0	+ 5 %	0
В6	+ 2 %	0	– 2 %	+ 5 %	0
В7	+ 0.5 %	0	0	0	2 %
В8	+ 0.5 %	+ 5 %	0	– 5 %	2 %
В9	0	0	0	0	2 %
В10	0	0	+ 1 %	0	0

Исследования проводились при формировании сигнала со следующими параметрами: несущая частота (F_n) 5кГц, модулирующая частота (F_m) 100Гц, коэффициент модуляции (K_m) 0,75.

Результаты проведенных исследований сведены в 3, а также представлены в виде столбчатых диаграмм на рис. 4.

Таблица 3

Численные значения отклонений параметров АМ-сигнала генератора на базе АПС при различных вариантах комбинаций возмущающих факторов

Критерий	Вариант комбинации возмущающих факторов									
	В1	В2	В3	В4	В5	В6	В7	В8	В9	В10
dFn, %	0	2	2	0	0	2	0	0	0	1
dFm, %	2	2	0	0	2	2	0,5	0,5	0	0
dKm, %	0,67	1,2	0	0,4	3,73	3,73	2,26	2,66	2	2
dGmax, %	0,19	0,18	0	5	5,19	5,19	1,99	6,89	2	2
dU, %	0,38	0	0	3,88	5	5	2	5,88	2	2
dmax, %	0,06	0	0,08	2,98	5	4,98	2	4,91	2,02	2,03
dG, %	1,49	59,2	59,27	2,97	3,54	60,06	1,5	4,08	1,5	85

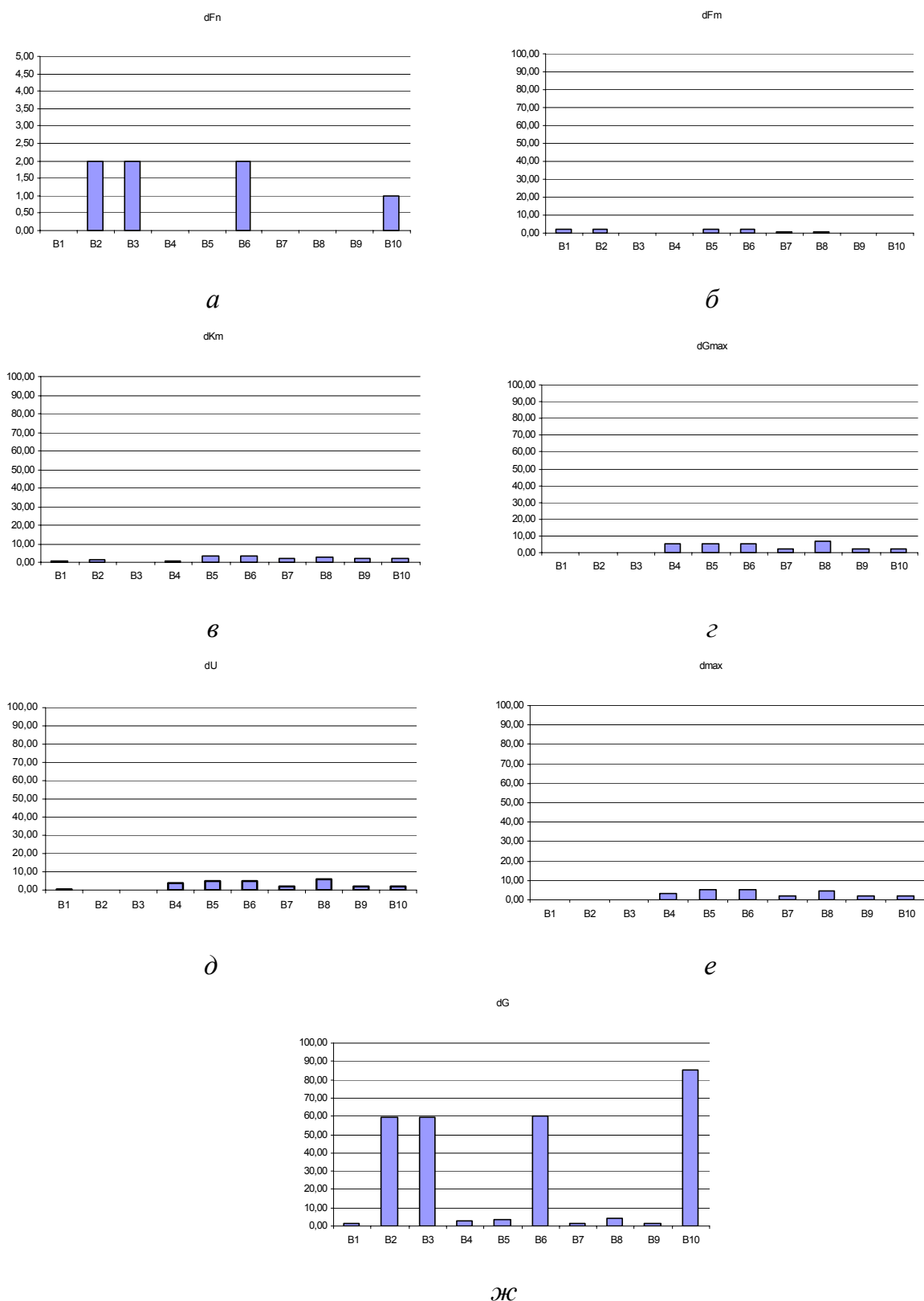


Рис. 4 Отклонения параметров АМ-сигнала генератора на базе АПС при различных вариантах комбинаций возмущающих факторов

В результате проведенного анализа было установлено, что ни один из вариантов комбинаций возмущающих факторов не приводит к существенному визуальному искажению АМ-сигнала (см. эталонный АМ-сигнал, рис. 3).

Отклонение несущей (см. рис. 4, а) и модулирующей (см. рис. 4, б) частоты, наблюдается только в тех случаях, когда имеют место отклонения частот

соответствующих ГГС, и численно соответствуют значениям этих отклонений. Это свидетельствует о низкой чувствительности данного варианта схемы генератора АМ-сигнала к стабильности частот входящих в его состав генераторов.

На коэффициент модуляции (см. рис. 4, в) вариант возмущений В3 влияния не оказал, остальные варианты привели к незначительным его отклонениям, не более 4 %.

К отклонениям амплитуды основной гармоники (см. рис. 4, з) приводят все варианты возмущений, кроме В3. В тех случаях, когда эти отклонения имеют место, они не превышают 7 %.

Максимальное отклонение действующего значения сигнала (см. рис. 4, д) наблюдается при варианте возмущений В8 и достигает 6 %. Это обусловлено наличием ошибки АПС и отклонением амплитуды одного из ГГС.

Отклонения амплитуды АМ-сигнала (см. рис. 4, е) при варианте возмущений В2 обнаружено не было. При остальных вариантах возмущений оно не превышало 5 %.

К существенным отклонения гармонического состава (см. рис. 4, ж) приводят несколько вариантов возмущений, так, при варианте В10 отклонения достигают 85 %. Это обусловлено смещением гармоник при отклонении частот генераторов ГГС1 и ГГС2.

Таким образом, для рассмотренной схемы существенные отклонения формируемого АМ-сигнала возможны только по гармоническому составу. По остальным параметрам отклонения не значительны.

3 Влияние возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала генератора на базе сумматора

В процессе анализа в качестве возмущающих факторов, оказывающих влияние на параметры АМ-сигнала в генераторе на базе сумматора (см. рис. 2), рассматривались:

- Δf_1 – отклонение частоты генератора несущего сигнала ГГС1;
- ΔU_{m1} – отклонение амплитуды генератора несущего сигнала ГГС1;
- Δf_2 – отклонение частоты генератора нижнего бокового сигнала ГГС2;
- ΔU_{m2} – отклонение амплитуды генератора нижнего бокового сигнала ГГС2;
- Δf_3 – отклонение частоты генератора верхнего бокового сигнала ГГС3;
- ΔU_{m3} – отклонение амплитуды генератора верхнего бокового сигнала ГГС3.

В результате проведенных исследований генератора на базе сумматора были определены основные варианты комбинаций возмущающих факторов, которые приводят к наибольшим изменениям параметров АМ-сигналов (см. табл. 4).

Таблица 4

Варианты комбинаций возмущающих факторов, оказывающих наибольшее влияние на параметры АМ-сигнала генератора на базе сумматора

Вариант	ГГС1		ГГС2		ГГС3	
	Δf_1	ΔU_{m1}	Δf_2	ΔU_{m2}	Δf_3	ΔU_{m3}
В1	0	0	- 2 %	0	0	0
В2	+ 2 %	0	0	0	+ 2 %	0
В3	0	0	0	0	+ 2 %	0
В4	0	+ 5 %	0	0	0	- 5 %
В5	+ 2 %	0	0	0	0	+ 5 %
В6	- 2 %	+ 5 %	+ 2 %	0	0	0
В7	0	0	+ 0,5 %	0	0	0
В8	0	0	+ 0,5 %	+ 5 %	0	- 5 %
В9	0	0	0	0	0	- 100 %
В10	0	0	+ 2 %	0	- 2 %	0

При указанных вариантах возмущений наблюдалось существенное искажение формы АМ-сигнала (рис. 5). При вариантах В1, В2, В3, на периоде модуляции появляется две волны различной формы (рис. 5, а), вместо одной (см. эталонный сигнал на рис. 3).

Вариант возмущений В4 не приводит к существенному изменению формы сигнала, а вариант В5 (рис. 5, б) характерен тем, что частота модуляции повышается в 2 раза. При варианте возмущений В6 на периоде модуляции появляется две волны одинаковой формы, но разной амплитуды (рис. 5, в).

Особенностью вариантов В7 и В8 является многократное уменьшение частоты модулирующего сигнала, в данном случае в 4 раза (рис. 4, з). Данное уменьшение наблюдается при незначительных отклонениях частот ГГС, когда уровень отклонения стремится к нулю, но не равно ему, то и частота модуляции также стремится к нулю. Такие изменения частоты модуляции сродни эффекту биения при наложении двух практически когерентных сигналов.

В варианте В9 отсутствие одного из ГГС привело к отклонению формы огибающей модулирующего сигнала (рис. 5, д). А вариант комбинации возмущений В10 привел к полному отсутствию модуляции сигнала (рис. 5, е).

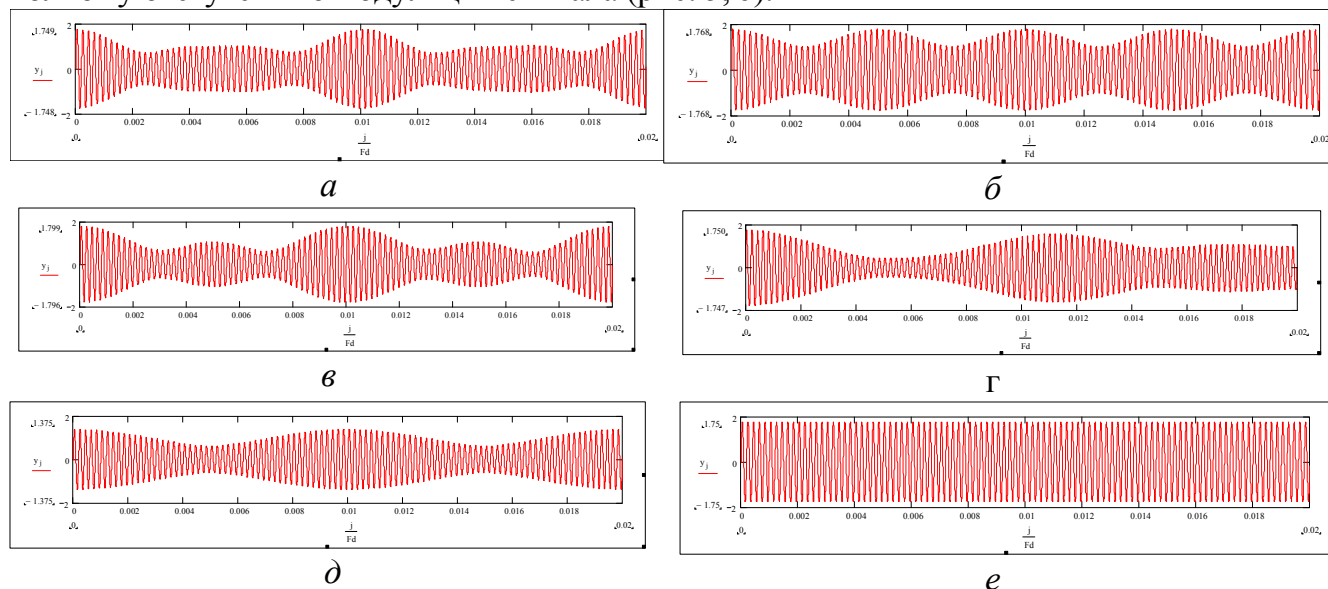


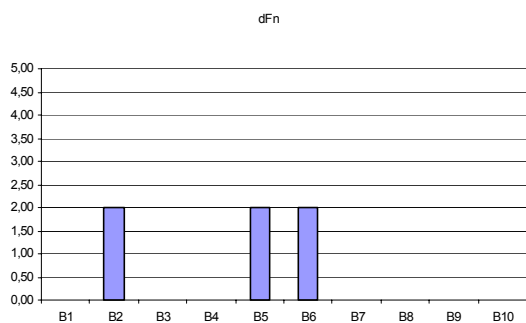
Рис. 5 Форма АМ-сигналов генератора на базе сумматора при различных вариантах комбинаций возмущающих факторов

Численные значения отклонений параметров АМ-сигнала при различных вариантах возмущений сведены в табл. 5 и представлены в виде столбчатых диаграмм на рис. 6.

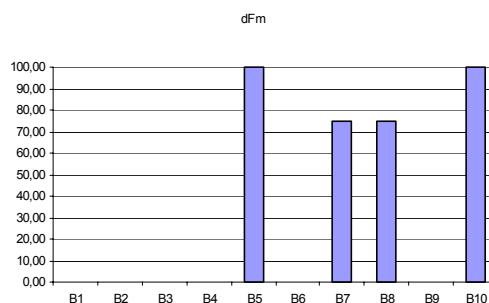
Таблица 5

Численные значения отклонений параметров АМ-сигнала генератора на базе сумматора при различных вариантах комбинаций возмущающих факторов

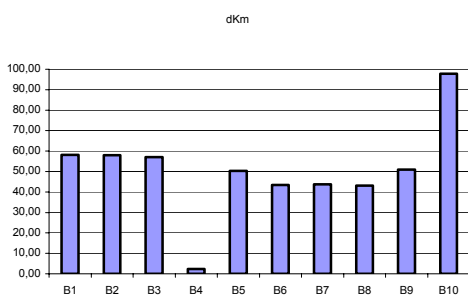
Критерий	Вариант комбинации возмущающих факторов									
	В1	В2	В3	В4	В5	В6	В7	В8	В9	В10
dFn, %	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0
dFm, %	0	0	0	0	100	0	75	75	0	100
dKm, %	58,19	57,92	56,99	2,40	50,33	43,41	43,68	43,14	50,87	97,87
dGmax, %	0,29	0,80	0,26	4,99	39,28	4,53	0,25	0,26	0,19	74,57
dU, %	0,38	0,63	0,38	3,50	27,63	3,62	0,13	0,38	5,63	54,38
dmax, %	0,06	0,06	0,06	1,77	1,03	2,80	0	1,03	21,43	0
dG, %	30,19	70,58	30,03	3,29	81,49	52,69	16,80	17,21	21,20	52,13



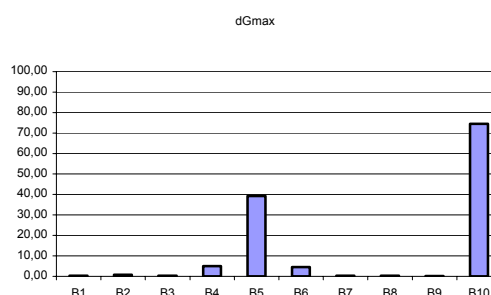
a



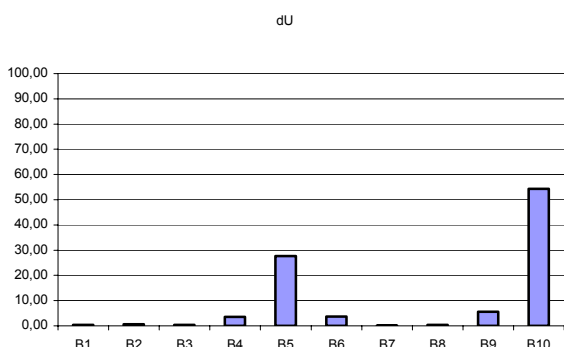
б



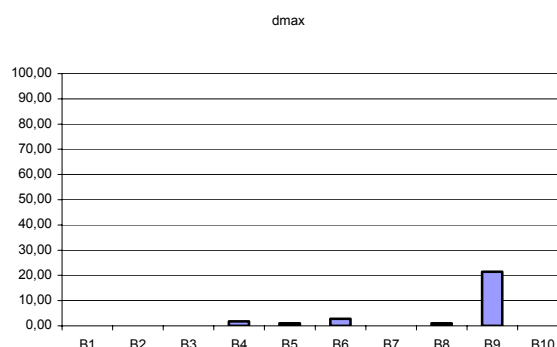
в



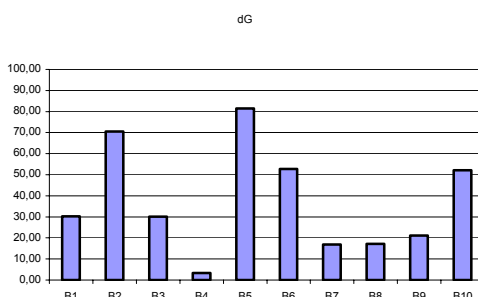
г



д



е



ж

Рис. 6 Отклонения параметров АМ-сигнала генератора на базе сумматора при различных вариантах комбинаций возмущающих факторов

На частоту несущего сигнала возмущающие факторы влияния практически не оказывают. Для всех рассмотренных вариантов отклонение несущей частоты не превышает 2% (рис. 6, *a*), что соответствует отклонению частоты ГГС1. Однако на частоту модулирующих колебаний различные варианты возмущений оказывают гораздо большее влияние (рис. 6, *б*), вплоть до 100 %, изменяя ее в несколько раз (варианты B5, B7, B8), или уменьшая до 0 (вариант B10).

При всех вариантах отклонений, кроме В4, наблюдается существенное отклонение коэффициента модуляции и в пределе оно достигает 100 % (рис. 6, в).

К максимальным отклонениям амплитуды основной гармоники (рис. 6, з) приводят варианты возмущений В5 и В10, при этом значение максимального отклонения достигает почти 75 %. Это обусловлено наложением гармоник формируемого сигнала друг на друга.

Значительное изменение действующего значения выходного сигнала наблюдается при вариантах В5 и В10 и составляет более 27 % и 54 % соответственно (рис. 6, д). Для остальных вариантов это изменение не превышает 6 %.

Отклонение амплитуды АМ-сигнала (рис. 6, е) максимально при варианте В9 и составляет более 21 %, при остальных вариантах возмущений отклонения незначительные, а при вариантах В7 и В10 отсутствуют вообще.

Практически все рассмотренные варианты возмущений приводят к существенному изменению гармонического состава (рис. 6, в), а при варианте В5 отклонения составляют почти до 82 %.

В результате проведенных исследований установлено, что по отношению к схеме генератора на базе АПС в схеме генератора на основе сумматора наблюдается большая зависимость параметров формируемого АМ-сигнала от возмущающих факторов.

4 Комплексный показатель оценки влияния возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала

Для обобщенного анализа влияния возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала вводится комплексный показатель, в который отклонения параметров входят с некоторыми весовыми коэффициентами, учитывающими степень влияния отдельных параметров на качество проводимой процедуры амплипульстерапии. Для расчета комплексного показателя предлагается использовать следующее выражение

$$K = 0,05d_{max} + 0,05d_{Gmax} + 0,05d_G + 0,25d_U + 0,2d_{Fn} + 0,2d_{Fm} + 0,2d_{Km}.$$

При расчете комплексного показателя основным считается отклонение действующего значения сигнала d_U , которое определяет интенсивность воздействия на пациента. Весовой коэффициент этого отклонения составляет 0,25. Такие параметры АМ-сигнала как несущая частота F_n , частота модуляции F_m и коэффициент модуляции K_m учитываются в комплексном показателе с весовым коэффициентом 0,2. Для остальных параметров АМ-сигнала весовой коэффициент был принят равным 0,05.

Результаты обобщенного анализа влияния возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала двух исследуемых генераторов представлены в табл. 6 и в виде столбчатых диаграмм на рис. 7.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что в генераторе на базе АПС возмущающие факторы не оказывает существенного влияния на качество формируемого АМ-сигнала. При этом значение комплексного показателя $K_{АПС}$ при любом из рассмотренных вариантов комбинации возмущений не превышает 7 %.

Таблица 6

Численные значения комплексного показателя анализа влияния возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала

Показатель	Вариант комбинации возмущающих факторов									
	В1	В2	В3	В4	В5	В6	В7	В8	В9	В10
$K_{АПС}, \%$	0,71	4,01	3,37	1,60	3,08	6,31	1,33	2,90	1,18	5,55
$K_{СУМ}, \%$	13,26	15,71	13,01	1,86	43,46	12,99	24,62	24,65	13,72	59,50

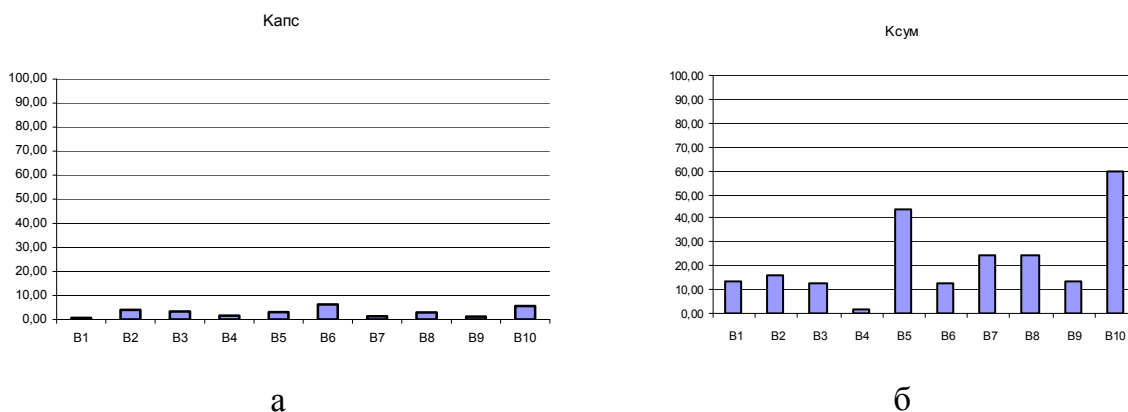


Рис. 7 Численные значения комплексного показателя анализа влияния возмущающих факторов на параметры АМ-сигнала генератора на базе АПС (а) и на базе сумматора (б)

Генератор на базе сумматора оказывается менее устойчивым к влиянию возмущающих факторов. Здесь значения комплексного показателя $K_{\text{СУМ}}$ достигают 60 %, что, очевидно, не всегда позволит достигать требуемого терапевтического эффекта.

Выводы

1 При условии обеспечения идеальности составных частей генераторов для формирования АМ-сигналов может быть использован любой из рассмотренных способов.

2 Влияние возмущающих факторов в меньшей степени сказываются на параметрах АМ-сигнала, формируемого генератором на базе аналогового перемножителя сигналов.

3 При реализации аппарата для терапии синусоидальными модулированными токами, в качестве генератора АМ-сигнала наиболее целесообразно использовать схему на базе аналогового перемножителя сигналов, что позволит точнее дозировать параметры воздействия при проведении процедур амплипульстерапии.

Список литературы: 1. Техника и методики физиотерапевтических процедур (справочник) / Под ред. В.М. Боголюбова. – Тверь: Губернская медицина, 2002. – 408 с. 2. Воробьев М.Г., Пономаренко Г.Н. Практическое пособие по электро- и магнитотерапии. – СПб.: Гиппократ, 2002. – 200 с. 3. Сокол Е.И., Кипенский А.В., Верещак В.А. Анализ показателей качества аппаратов для амплипульстерапии // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силова електроніка та енергоефективність. Ч.3. – К.: ІЕД НАНУ, 2006. – С. 123-130. 4. Определение параметров синусоидальных модулированных сигналов / Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, Е.И. Король, В.А. Верещак // Сборник научных трудов 3-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ'2008), 22-24 октября 2008 г., г. Харьков. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЕ, 2008. – Т. IV. – С. 34-37. 5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.

Поступила в редколлегию 17.06.2009