

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ БЛОКИ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФОТОННЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, Е.И. Король, В.В. Куличенко
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника», лаборатория биомедицинской электроники
НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина;
Тел.: (057) 707-6937;
E-mail: korol@kpi.kharkov.ua
А.М. Коробов, В.А. Коробов
НИИ лазерной биологии и лазерной медицины, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина;
Тел.: (0572) 54-80-37, (057) 707-5191;
E-mail: LBLM@univer.kharkov.ua

Annotation – The analysis of results of experimental study of microprocessor blocks for impulse control for phototherapy is presented. The estimation of such qualitative parameters as accuracy of signal formation, which modulates electromagnetic radiation of IR and visible ranges, is done.

Key words – microprocessor, phototherapy, electromagnetic radiation

Электромагнитное излучение (ЭМИ) оптического диапазона широко применяется в медицине с лечебной целью. К этому диапазону относят инфракрасное (ИК) излучение (дальнее, среднее и ближнее), видимое излучение (красное, оранжевое, желтое, зеленое, голубое, синее и фиолетовое) и ультрафиолетовое (УФ) излучение (длинноволновое, средневолновое и коротковолновое) [1].

При взаимодействии ЭМИ оптического диапазона с поверхностью тела человека одна часть излучения отражается и рассеивается во все стороны, а другая часть поглощается, проходя сквозь различные слои биологических тканей. Под действием поглощенной части ЭМИ в организме начинаются фотобиологические реакции, характер которых определяется энергией фотонов, возрастающей с уменьшением длины волны. С другой стороны, взаимодействие оптического излучения с биологическими тканями определяется его проникающей способностью, которая нарастает при переходе от УФ-излучения до ИК.

Результатом взаимодействия фотонов с атомами и молекулами биологических тканей являются электронно-возбужденные состояния молекул, что приводит к их диссоциации и ионизации. На следующем этапе энергия оптического излучения трансформируется в тепло или приводит к образованию первичных фотопродуктов, служащих пусковым механизмом фотобиологических процессов. При этом специфичность лечебных эффектов существенно зависит от длины волны ЭМИ.

Применение ЭМИ оптического диапазона позволяет перевести возникший патологический процесс в сторону нормализации. Объясняется это тем, что ЭМИ запускает скрытые резервные адаптационные возможности организма, как на уровне отдельных клетки, так и всей биологической системы в целом, резко повышая иммунитет и мобилизуя защитные силы организма на активное сопротивление возникшим отклонениям в функционировании.

ЭМИ оптического диапазона в фототерапевтических аппаратах генерируется самыми разнообразными источниками, начиная от ламп накаливания и заканчивая лазерами. В последние годы в связи с освоением

промышленностью выпуска полупроводниковых суперярких светодиодов, они все чаще стали применяться в качестве источников ЭМИ.

В частности, Научно-производственной медико-биологической корпорацией «Лазер и Здоровье» (г. Харьков) был разработан целый ряд терапевтических аппаратов с излучателями ЭМИ ИК и видимой части спектра на основе суперярких светодиодов. Однако следует отметить, что среди продукции корпорации наибольшее распространение получили фотонные матрицы «Барва-Флекс», фотонные массажеры «Барва-ЛМК» и фотонные зонды «Барва-ГПУ».

Фотонные матрицы «Барва-Флекс» предназначены для использования в кардиологии, пульмонологии, гинекологии, отоларингологии, стоматологии, гастроэнтерологии, дерматологии, в спортивной медицине для подготовки спортсменов к соревнованиям, в домашних условиях для индивидуального лечения и профилактики целого ряда заболеваний.

В основу лечебного действия фотонных матриц «Барва-Флекс» положена способность ЭМИ ИК и видимой части спектра увеличивать энергетическую активность клеточных мембран, приводить в действие регенерационные процессы, увеличивать поглощение кислорода тканями, стимулировать образование АТФ в митохондриях, что повышает биоэнергетический потенциал клеток. ЭМИ ИК и видимой части спектра имеет противовоспалительный, заживляющий и анальгезирующий эффекты, оно нормализует артериальное давление, снимает болевые синдромы в суставах, позвоночнике и мышцах. Такое излучение нормализует работу регуляторных систем организма человека: иммунной, эндокринной и центральной нервной (ЦНС). Под действием ЭМИ ИК и видимой части спектра активизируется микроциркуляция в зоне облучения, что приводит к повышению эффективности использования лекарственных препаратов и позволяет снижать их дозировку. Сочетанное действие ЭМИ ИК и видимой части спектра фотонной матрицы «Барва-Флекс» с постоянным магнитным полем магнитной матрицы «Барва-Флекс/Маг» повышает эффективность лечения ряда заболеваний.

Фотонный массажер «Барва-ЛМК» эффективно ис-

пользуется в неврологии, кардиологии, пульмонологии, гинекологии, отоларингологии, стоматологии, гастроэнтерологии, дерматологии, при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, варикозном расширении вен, целлюлите, синдроме хронической усталости, а также в спортивной медицине и в домашних условиях.

При проведении процедуры фотонным массажем «Барва-ЛМК» воздействие ЭМИ сочетается с прессирующим массажем. В результате этого происходит раздражение, которое воспринимается рецепторным аппаратом кожи, мышц, суставов и передается путем сложных рефлексов через вегетативные и анимальные нервы в высшие отделы ЦНС. Эти раздражения, достигнув ЦНС, вызывают ответные рефлекторные реакции сосудисто-двигательного и трофического характера. Под действием этих реакций усиливаются окислительно-восстановительные процессы, которые улучшают питание мышц и способствуют укреплению и улучшению их моторных функций.

В основу лечебного действия фотонного зонда «Барва-ГПУ» положена способность ЭМИ ИК и красного диапазонов увеличивать энергетическую активность клеточных мембран, приводить в действие регенерационные процессы, оказывать противовоспалительный, анальгезирующий и заживляющий эффекты. При лечении гинекологических и урологических заболеваний фототерапию зондом «Барва-ГПУ» целесообразно сочетать с медикаментозной терапией. При этом, в зоне воздействия ЭМИ происходит увеличение концентрации лекарственного вещества, его действие пролонгируется, а терапевтический эффект усиливается. Все это позволяет снизить дозировки применяемых лекарственных препаратов.

Параметры излучения рассмотренных аппаратов приведены в таблице 1.

При выборе длины волны ЭМИ для проведения процедуры фототерапии, необходимо учитывать специфику его действия.

Красный цвет излучения усиливает эмоции и стимулирует работу всех органов чувств, повышает внутренние ресурсы организма и жизненный тонус, активизирует деятельность печени и почек. Он стимулирует костно-мышечную систему, процессы кровообращения и теплообразования, повышает пониженное кровяное давление, устраняет застойные явления в органах.

Желтый цвет излучения стимулирует интеллектуальные способности и мобилизует деятельность нервной системы, стимулирует работу лимфатической и кровеносных систем, релаксирует желудочно-кишечный тракт. Этот цвет оказывает очищающее действие на печень, селезенку и кожу, восстанавливает запасы минеральных веществ и снижает кислотность в организме, умеренно снижает повышенное кровяное давление.

Зеленый цвет излучения стабилизирует эмоции и гармонизирует все функции организма, нормализует деятельность сердечно-сосудистой системы (снижает сильное сердцебиение и сосудистый тонус, расширяет капилляры, стабилизирует кровяное давление, лечит аритмию), способствует восстановлению мышечной, костной и других тканей организма, проявляет антисептические и противомикробные свойства. Зеленый

цвет эффективен при головных болях, бессоннице, изнурении, утомлении глаз, нарушениях зрения.

Синий цвет излучения особенно эффективен при излишней эмоциональности, слабом контроле реакций, неадекватности поступков, склонности к пессимизму и используется при лечении различных заболеваний, возникающих на почве неврозов. Этот цвет обладает противовоспалительным, седативным, релаксирующим и болеутоляющим действием преимущественно на кожу, слизистые оболочки, легкие, кишечник, ЦНС и кровь человека, применяется при лечении гнойных ран и гранулем. Синий цвет возбуждает функцию эндокринных желез (в том числе стимулирует паращитовидные железы), снижает температуру тела, повышает иммунитет.

Инфракрасное излучение может быть использовано в сочетании с любым излучением видимой части спектра. Например, фотонные матрицы, содержащие кроме светодиодов основного цвета излучения инфракрасные светодиоды (см. табл. 1), могут быть использованы вместо монохромных матриц.

Полихромные излучатели матрица «Барва-Флекс/ПХ» и зонд «Барва-ЛМК/ПХ» имеют более широкий спектр применения в связи с наличием светодиодных групп с различной длиной волны излучения (см. табл. 1).

В ряде случаев лечебное действие фототерапии удается существенно повысить за счет импульсной модуляции ЭМИ. При этом излучение будет нести информационную компоненту, поскольку частота его модуляции может оказаться резонансной к частотам тех или иных изменений функциональной активности структур или процессов в организме [2].

Для расширения функциональных возможностей аппаратов корпорации «Лазер и Здоровье», в том числе и обеспечения импульсной модуляции ЭМИ, было разработано несколько модификаций микропроцессорных блоков импульсного управления (МПБИУ) [3].

Целью данной работы является анализ результатов экспериментальных исследований микропроцессорных блоков импульсного управления фотонными излучателями и оценка таких качественных показателей как точность формирования амплитудно-частотно-временных параметров сигнала, модулирующего ЭМИ ИК и видимого диапазонов.

При разработке МПБИУ была использована усовершенствованная концепция построения микропроцессорных систем импульсного управления, основанная на положениях теории цифро-импульсных и импульсно-цифровых преобразований [4,5]. Несмотря на различия в назначениях разработанных МПБИУ, их амплитудно-частотно-временные параметры идентичны, а обобщенная структурная схема может быть представлена в виде, показанном на рис. 1. Здесь с помощью пульта управления (ПУ) осуществляется задание таких параметров терапевтического воздействия как:

- частота модуляции f_M в диапазоне от 1 до 99 Гц;
- мощность излучения (относительное значение) $P_{ИЗ}$ в диапазоне от 1 до 99 %;
- продолжительность облучения $\tau_{ОБ}$ в диапазоне от 1 до 99 мин.

Таблица 1

Наименование аппарата	Излучение	Длина волны, нм	Кол-во светодиодов, шт.	Мощность излучения, мВт
Фотонные матрицы				
«Барва-Флекс/К»	красное	660	24	120
«Барва-Флекс/Ж»	желтое	580	24	120
«Барва-Флекс/З»	зеленое	525	24	120
«Барва-Флекс/С»	синие	470	24	120
«Барва-Флекс/КИК»	красное	660	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ЖИК»	желтое	580	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ЗИК»	зеленое	525	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/СИК»	синие	470	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ПХ»	инфракрасное	940	8	40
	красное	660	4	20
	желтое	580	4	20
	зеленое	525	4	20
	синие	470	4	20
Фотонные массажеры				
«Барва-ЛМК»	красное	650	5	25
«Барва-ЛМК/ПХ»	инфракрасное	940	5	25
	красное	660	5	25
	желтое	580	5	25
	зеленое	525	5	25
	синие	470	5	25
Фотонные зонды				
«Барва-ГПУ»	инфракрасное	840-890	3	15
	красное	630-660	3	15
«Барва-ГПУ2»	инфракрасное	840-890	6	30
	красное	630-660	6	30

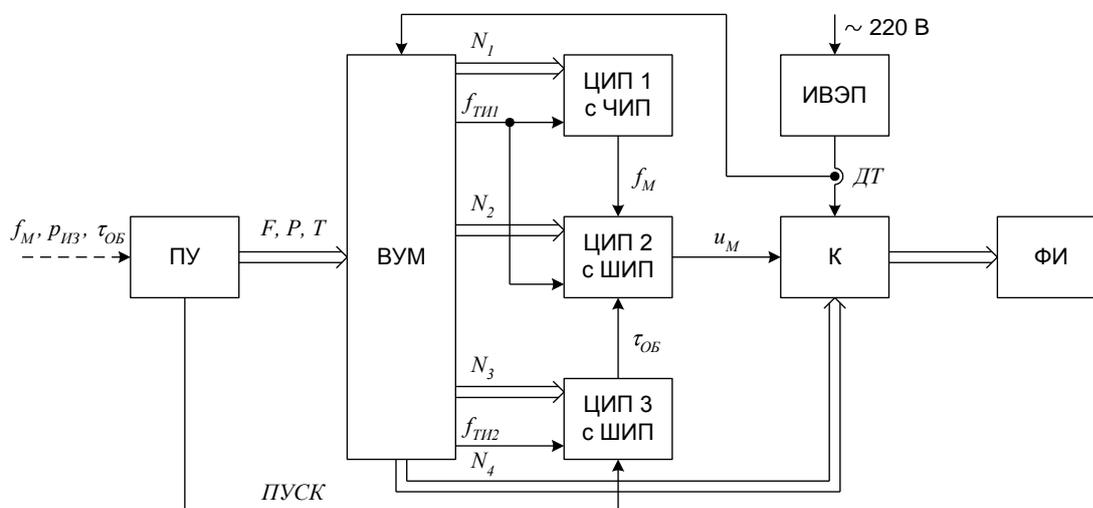


Рис. 1 Микропроцессорный блок импульсного управления фотонными излучателями

В соответствии с заданными с ПУ параметрами воздействия в вычислительно-управляющий модуль (ВУМ) записываются коды следующих чисел:

$$F = \frac{f_M \cdot 2^n - 1}{f_{M \max}}; \quad (1)$$

$$P = \frac{P_{ИЗ} \cdot 2^n - 1}{P_{ИЗ \max}}; \quad (2)$$

$$T = \frac{\tau_{ОБ} \cdot 2^n - 1}{\tau_{ОБ \max}}; \quad (3)$$

где $f_{M \max}$, $P_{ИЗ \max}$, $\tau_{ОБ \max}$ – максимальные значения частоты модуляции, мощности излучения и продолжительности облучения соответственно;

n – разрядность кодов чисел F , P и T , принятая для всех случаев одинаковой.

Далее, в ВУМ производится обработка кодов задания и вычисляются значения некоторых чисел:

$$N_1 = \frac{2^n - 1}{F \cdot f_{M \max}} \cdot f_{M \min}; \quad (4)$$

$$N_2 = \frac{2^n - 1}{F \cdot f_{M \max}} \cdot P \cdot P_{ИЗ \max} \cdot f_{M \min}; \quad (5)$$

$$N_3 = T; \quad (6)$$

где $f_{M \min}$ – минимальное значение частоты модуляции.

Код числа N_1 преобразуется в первом цифро-импульсном преобразователе с частотно-импульсным законом преобразования (ЦИП1 с ЧИП) в импульсную последовательность с частотой f_M следования импульсов

$$f_M = \frac{f_{П1}}{N_1}; \quad (7)$$

где $f_{П1}$ – частота тактовых импульсов, значение которой следует выбирать из условия

$$f_{П1} \leq 2^n - 1 \cdot f_{M \min}. \quad (8)$$

Выходной сигнал ЦИП1 с ЧИП синхронизирует работу второго цифро-импульсного преобразователя с широтно-импульсным законом преобразования (ЦИП2 с ШИП). Необходимость в этом преобразователе обусловлена тем, что регулирование мощности излучения осуществляется методом широтно-импульсной модуляции. В ЦИП2 с ШИП осуществляется преобразование кода числа N_2 в длительность модулирующих импульсов $\tau_{И}$

$$\tau_{И} = \frac{N_2}{f_{П1}}. \quad (9)$$

В третьем цифро-импульсном преобразователе с широтно-импульсным законом преобразования (ЦИП3 с ШИП) осуществляется преобразование кода числа N_3 в продолжительность временного интервала $\tau_{ОБ}$ облучения

$$\tau_{ОБ} = \frac{N_3}{f_{П2}}; \quad (10)$$

где $f_{П2}$ – частота тактовых импульсов, значение которой следует выбирать из условия

$$f_{П2} \leq \frac{2^n - 1}{\tau_{ОБ \max}}; \quad (11)$$

Формирование временного интервала $\tau_{ОБ}$ начинается в ЦИП3 с ШИП с приходом от ПУ сигнала «ПУСК».

Таким образом, на выходе ЦИП2 с ШИП в течение

временного интервала $\tau_{ОБ}$ формируется частотно-импульсный модулирующий сигнал u_M с частотой f_M следования импульсов и их длительностью $\tau_{И}$.

Источник вторичного электропитания (ИВЭП) служит для преобразования переменного напряжения питающей сети 220 В в стабилизированное постоянное. Модуляция постоянного напряжения осуществляется под действием сигнала u_M с помощью коммутатора (К), реализованного на транзисторных ключах.

Код числа N_4 , поступающий на другой вход коммутатора, обеспечивает подключение к его выходу соответствующего фотонного излучателя (ФИ), группы излучателей или соответствующих светодиодных групп одного излучателя. В ФИ происходит непосредственное преобразование электрической энергии в ЭМИ ИК и видимой части спектра. При этом форма импульса излучения будет близка к форме импульса напряжения, прикладываемого к светодиодам.

Наличие датчика тока (ДТ) позволяет контролировать ток в выходной цепи ИВЭП. При превышении этим током допустимого значения ВУМ с помощью коммутатора осуществляет отключение ФИ и реализует алгоритм автоматического повторного включения (обычно до 5 раз).

При проведении экспериментальных исследований МПБИУ различных модификаций (см. рис. 2), осуществлялась проверка стабильности выходного напряжения и соответствие частотно-временных параметров модулирующего сигнала установленным значениям.

Проверка стабильности выходного напряжения блоков осуществлялась в непрерывном и в импульсном режимах при изменениях питающего напряжения (на $\pm 10\%$) и мощности нагрузки (для разных блоков диапазон изменения мощности был различным). При этом стабильность напряжения оценивалась по его отклонению σ_U от номинального значения $U_H = 14$ В

$$\sigma_U = \frac{|U_H - U_{ИЗМ}|}{U_H} 100\%; \quad (12)$$

где $U_{ИЗМ}$ – измеренное значение выходного напряжения блока.

В результате проведенных исследований было установлено, что отклонение выходного напряжения МПБИУ от номинального значения во всех случаях не превышало 2,2%. Указанные отклонения обусловлены в данном случае изменением напряжения питания и параметров нагрузки в широких пределах. Однако зафиксированные отклонения выходного напряжения не превышают допустимых значений, предусмотренных техническим заданием.

Соответствие измеренных значений частотно-временных параметров модулирующего сигнала ($f_{МИЗМ}$ – частота и $\tau_{ИИЗМ}$ – длительность импульсов) установленным значениям ($f_{МУ}$ – частота и $\tau_{ИУ}$ – длительность импульсов) также оценивалось путем вычисления отклонений

$$\sigma_f = \frac{|f_{МУ} - f_{МИЗМ}|}{f_{МУ}} 100\%; \quad (13)$$

$$\sigma_\tau = \frac{|\tau_{ИУ} - \tau_{ИИЗМ}|}{\tau_{ИУ}} 100\%. \quad (14)$$

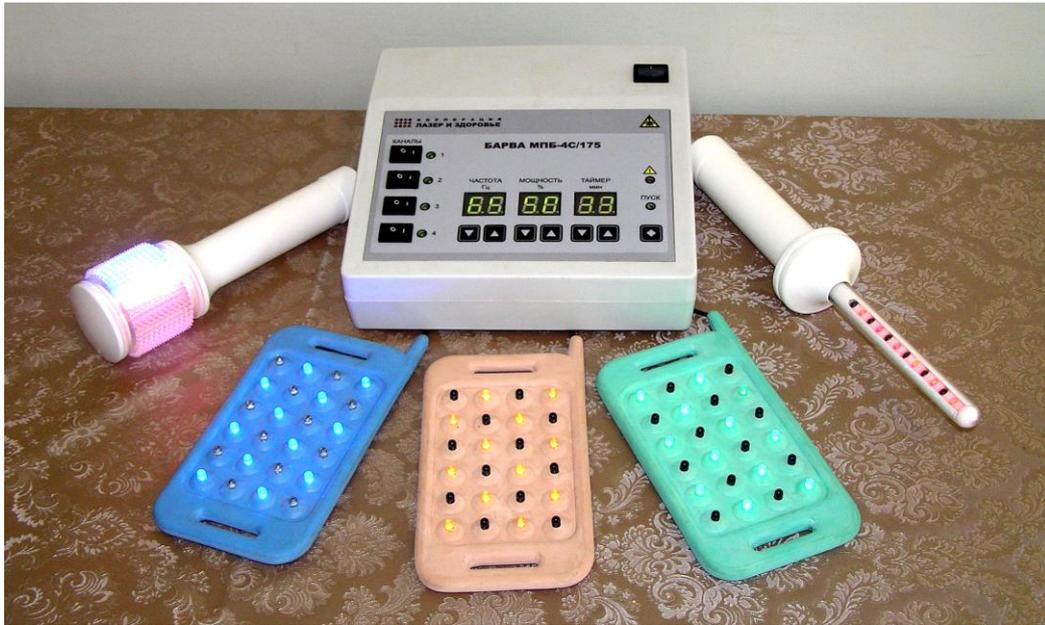


Рис. 2 Внешний вид микропроцессорного блока импульсного управления BARVA МПБ-4С/175 с фотонным массажером «Барва-ЛМК/ПХ», фотонными матрицами «Барва-Флекс» и фотонным зондом «Барва-ГПУ2»

Графики зависимостей (13) и (14), полученных в ходе экспериментальных исследований, приведены в виде столбчатых диаграмм на рис. 3-6.

Отклонение частотно-временных параметров модулирующего сигнала от установленных значений объясняется в данном случае дискретностью МПБИУ. При этом относительные значения дискретности ча-

стоты и длительности модулирующих импульсов зависят от частоты тактовых импульсов и разрядности ЦИП (см. (8)) и могут быть определены как

$$D_f^* = \frac{f_M}{f_M + f_{П1}} ; \quad (15)$$

$$D_\tau^* = \frac{1}{\tau_H f_{П1}} . \quad (16)$$

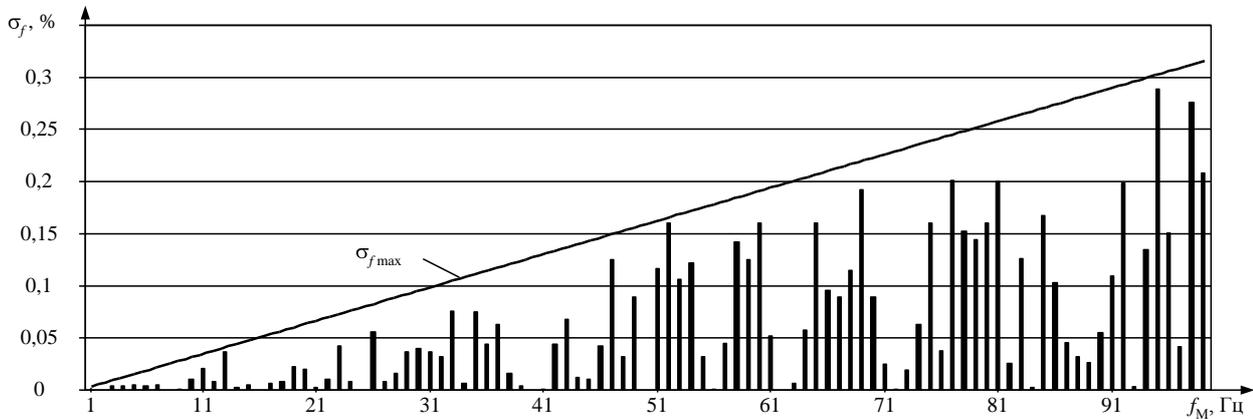


Рис. 3 Зависимость отклонения частоты модуляции от установленного значения

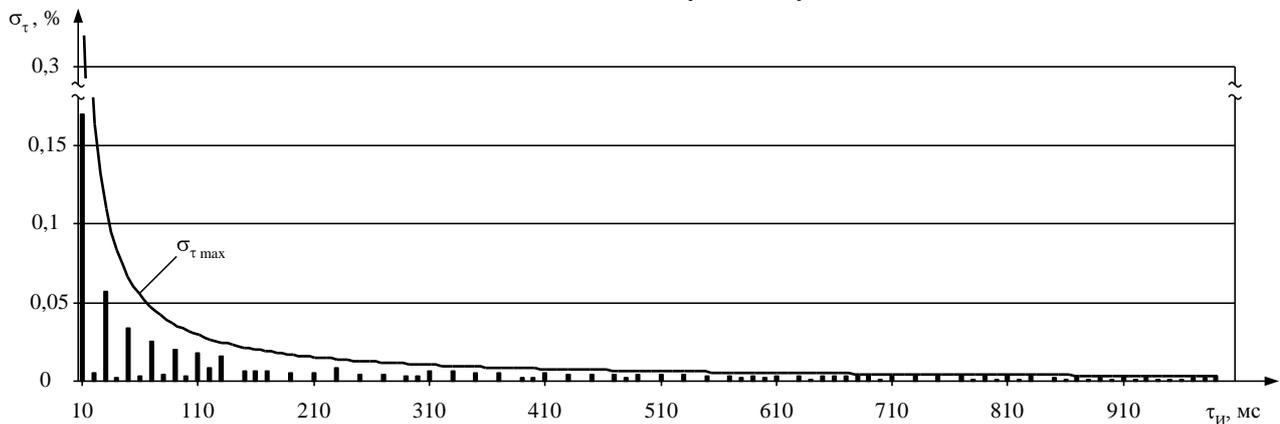


Рис. 4 Зависимость отклонения длительности модулирующих импульсов от установленного значения при $f_M = 1$ Гц

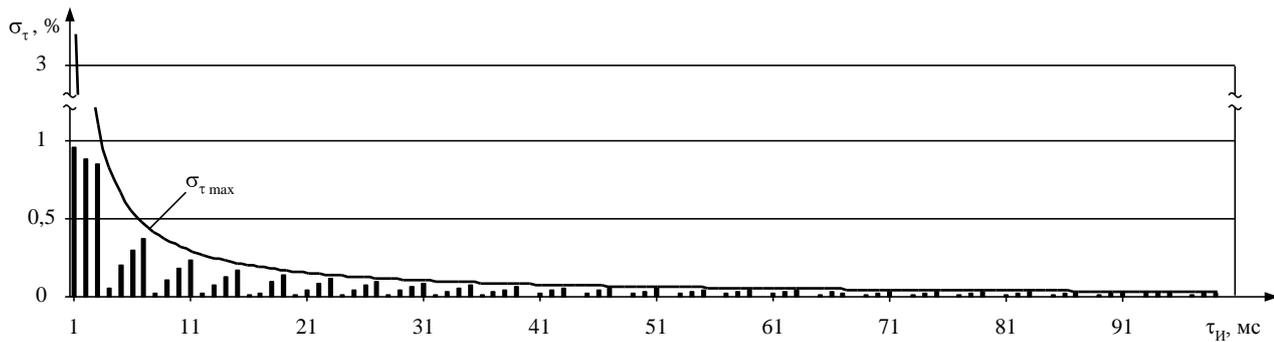


Рис. 5 Зависимость отклонения длительности модулирующих импульсов от установленного значения при $f_M = 10$ Гц

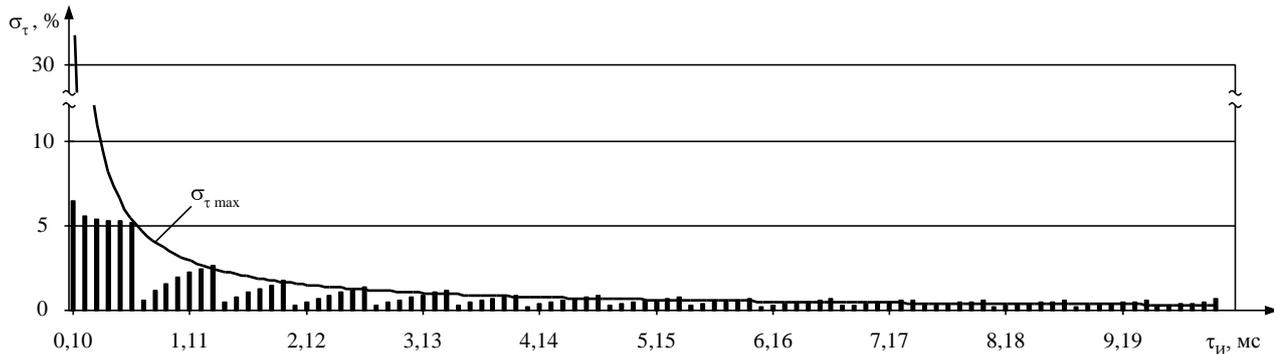


Рис. 6 Зависимость отклонения длительности модулирующих импульсов от установленного значения при $f_M = 99$ Гц

Дискретность формирования временных интервалов (период следования и длительность модулирующих импульсов), в свою очередь, обусловлена тем, что числа N_1 и N_2 , которые преобразуются в ЦИП, являются целочисленными, поскольку при вычислении в ВУМ этих чисел отбрасывается дробная часть частного от деления (см. выражения (4) и (5)). С учетом этого максимальные значения отклонений частоты и длительности модулирующих импульсов от установленных значений будут равны соответствующим значениям дискретности (см. (15) и (16))

$$\sigma_{f \max} = \frac{f_M}{f_M + f_{П1}}; \quad (17)$$

$$\sigma_{\tau \max} = \frac{1}{\tau_{И} f_{П1}}. \quad (18)$$

Зависимости, рассчитанные по выражениям (17) и (18) приведены на соответствующих графиках в виде непрерывных линий (см. рис. 3-6).

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- результаты экспериментальных исследований частотно-временных параметров модулирующего сигнала (его отклонения от установленных значений) в целом совпадают с расчетными значениями – отклонение частоты модулирующего сигнала увеличивается с ростом установленного значения частоты, а отклонение длительности модулирующих импульсов уменьшается с ростом их установленного значения;

- превышение, в отдельных случаях, отклонением длительности модулирующих импульсов, определенным в ходе экспериментальных исследований, максимального расчетного значения отклонения

(см. рис. 6), обусловлено некоторым несоответствием расчетного и фактического значений частоты тактовых импульсов;

- в целом, частотно-временные параметры модулирующего сигнала МПБИУ соответствуют требованиям технического задания;

- при необходимости повышения качества формирования частотно-временных параметров модулирующего сигнала в подобных системах наиболее целесообразно разделять исходный диапазон изменения параметра на поддиапазоны и в каждом поддиапазоне осуществлять ЦИ-преобразования с тактовой частотой, имеющей соответствующее значение.

[1] Боголюбов В.М., Пономаренко Г.Н. Общая физиотерапия. – М.: Медицина, 1999. – 432 с.

[2] Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. – М.: НПЛЦ «Техника», 2003. – 256 с.

[3] Новые возможности фототерапевтических аппаратов корпорации «Лазер и Здоровье» / Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, Е.И. Король и др. // Применение лазеров в медицине и биологии. Материалы XXIII Международн. науч.-практ. конф. 25-28 мая 2005 г., г. Николаев. – Харьков: НПМБК «Лазер и Здоровье», 2005. – С. 127-132.

[4] Kipensky A.V., Sokol E.I., Lastovka A.P. About some concepts of structure building of microprocessor control systems for semiconductor converters of electric energy. Proc. EDPE'96, Slovakia, 1-3 October 1996, pp. 614-616.

[5] Кипенский А.В. Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учеб. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 132 с.

Название доклада для включения в программу конференции

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
МЕДИЦИНСКОГО ОЗОНАТОРА ОМ 40/1-01**

Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, А.А. Лашин, Е.И. Король
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника», лаборатория биомедицинской электроники
НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина;
Тел.: (057) 707-6937;

E-mail: korol@kpi.kharkov.ua

А.П. Верещак, С.В. Литвиненко, Е.В. Хоменко

ОАО «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений»

ОАО «АО НИИРИ», ул. Академика Павлова, 271, г. Харьков, 61054, Украина;

Тел./факс: (057) 717-2879, 738-0528;

E-mail: radmir@niiri.kharkov.com

<http://www.radmir.kharkov.com>