

УДК 615.472.03:615.847.8

ПОЛІГАРМОНІЧНІ МЕТОДИ СТВОРЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ
МАГНІТОФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНИХ АПАРАТІВ

Терещенко М.Ф., к.т.н., доц., Пищик М.В., магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ
03056 м.Київ, проспект Перемоги, 37E-mail: agfar@ukrpost.ua

Для воспроизведения нужной формы периодического импульсного магнитного поля в источниках импульсного магнитного поля с замкнутой структурной схемой рационально использовать сравнение заданного сигнала необходимой формы и сигнала пропорционально току, который протекает по образцовой катушке. Предложены способы воспроизведения и принципы построения прецизионных источников импульсных магнитных полей, которые позволяют получить периодическое импульсное магнитное поле с погрешностью не более 2,5-1 %.

Ключевые слова: импульсное магнитное поле, магнитно-терапевтическая техника.

For reproducing of necessary form of the periodic pulsed magnetic field in the sources of the pulsed magnetic field with the closed flow diagram rationally to apply comparison of the set signal of necessary form and signal proportionally to the current which flows on an exemplary coil. Reproducing methods and aufbau principles of precise sources of the pulsed magnetic fields which allow to get the polyharmonic pulsed magnetic field with an error no more than 2,5-1 % are offered .

Key words: pulsed magnetic field, magnetic therapy equipment.

Вступ. Проблема створення прецизійних джерел полігармонічних магнітних полів (МП) із відтворюванням різних форм магнітних полів із високою точністю є дуже актуальною для сучасної магнітотерапевтичної техніки, оскільки від точності отримання необхідних значень динамічних параметрів і форми поля залежить прогнозований терапевтичний ефект.

Мета роботи. Теоретичне обґрунтування можливості отримання в робочій зоні магнітофізіотерапевтичного апарату (МФТА) полігармонічних магнітних полів заданих форм із високою точністю і необхідними динамічними параметрами, такими як амплітудне значення магнітної індукції, основна частота сформованого сигналу, скважність імпульсів і інші.

Розробити та дослідити нові перспективні принципи корекції необхідної форми імпульсних магнітних полів зі стабілізацією параметрів струму $i(t)$, що протікає зразковою катушкою магнітної індукції та корекції параметрів вхідного сигналу в основному тракті.

Основна частина. В результаті досліджень та практичних експериментів потрібно було запропонувати дієві способи відтворення та принципи побудов икерованих прецизійних джерел змінних та імпульсних МП, що дозволяють отримати періодичні імпульсні МП з високою точністю. При відтворенні квазі-прямокутних періодичних імпульсів магнітного поля в прецизійних джерелах змінного магнітного поля (ЗМП) із розімкнутою структурною схемою з'являється спотворення форми відтворюваного імпульсу. Так, значення магнітної індукції, відтворюване прецизійним джерелом змінного магнітного поля (ПДЗМП), дорівнює:

$$B(t) = K_B \cdot I(1 - e^{-\frac{t_n + \Delta t}{t}}) = B_0(1 - e^{-\frac{t_n + \Delta t}{t}}) \quad (1)$$

де K_B - стала катушки за магнітною індукцією;

I, B_0 - результуюча значень струму та магнітної індукції, що встановилися;

t - стала часу прецизійного джерела;

$t_n, \Delta t$ - тривалість імпульсу, фронту та спаду.

На рис. 1. зображені епюри вхідного та вихідного сигналів: форма вхідного сигналу 1, а; форма струму в мірі 1, б; форма імпульсу магнітного поля 1, в. Абсолютна похибка відтворення необхідної прямокутної форми магнітного поля дорівнює:

похибка на першій ділянці:

$$d_I(t) = B_0 e^{-\Delta t/t}, \quad (2)$$

на другій ділянці:

$$d_{II}(t) = 0, \quad (3)$$

на третій ділянці:

$$d_{III}(t) = -B_0 e^{-\Delta t/t}. \quad (4)$$

Сумарна похибка відтворення потрібної форми імпульсу магнітного поля дорівнює:

$$d_{\Sigma}(t) = |d_I(t)| + |d_{II}(t)| + |d_{III}(t)| = 2B_0 e^{-\frac{\Delta t}{t}} \quad (5)$$

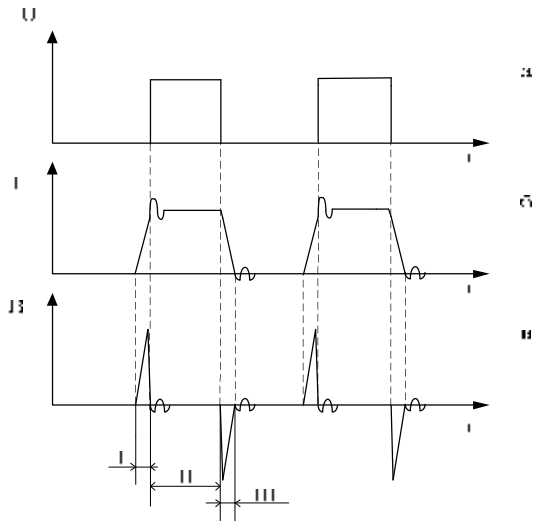


Рисунок 1 - Епюри вихідного та вхідного сигналів

Для зменшення цих похибок у ПДЗМП використовуються замкнені структурні схеми з коректующим сигналом, що пропорційний диференціальному сигналу порівняння вихідного з вхідним зразковими сигналами.

На рис. 2. зображена функціональна схема такого джерела.

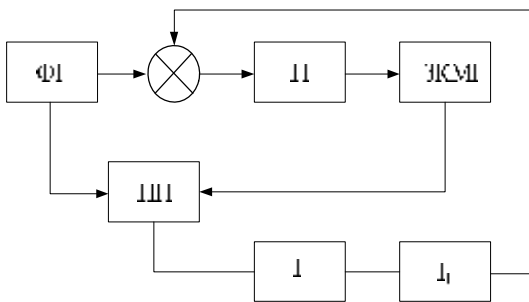


Рисунок 2 - Функціональна схема прицевійного джерела змінного магнітного поля (ФГ - функціональний генератор; П - підсилювач; ЗКМІ - зразкова котушка магнітної індукції; ПП - порівняльний пристрій; І - інвертор; ІІ - інтегратор)

Так, періодичну послідовність уніполярних прямокутних сигналів напруги $U(t)$, що надходять з функціонального генератора, можемо представити у вигляді ряду Фур'є [1]:

$$f_1(t) = U(t) = E \left(\frac{t_u}{T} + \frac{2}{p} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\Omega t_u}{2} \cos n\Omega t \right), \quad (6)$$

де E - амплітуда імпульсу;

t_u, T - тривалість імпульсу та його період;

$\Omega = \frac{2p}{T}$ - частота слідування імпульсів при скважності $N=2$;

n - кількість гармонік;

$N = \frac{T}{\Delta t}$ - скважність імпульсної послідовності.

Підсилений та перетворений в струм $i(t)$, цей сигнал відтворює імпульсне магнітне поле $B(t)$:

$$B(t) = K_{II} K_B i(t), \quad (7)$$

де K_{II} - коефіцієнт підсилення підсилювача потужності (II) та перетворення керованого стабілізованого джерела струму;

K_B - стала котушки за магнітною індукцією.

Так як зразкова котушка міри магнітної індукції (ЗКМІ) є аперіодичним ланцюгом I-го порядку з перехідною характеристикою виду

$$h \cdot (t) = 1 - e^{-t/t}, \quad (8)$$

то форма імпульсів магнітного поля змінюється через збільшення тривалості фронту та зрізу, і буде відповідати квазітрапеціодній формі імпульсної періодичної послідовності:

$$B(t) = \frac{4B_{\max}}{ap} (\sin a \sin \Omega t + \frac{1}{9} \sin 3a \sin 3\Omega t + \frac{1}{25} \sin 5a + \sin 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n^2} \sin na \times \sin n\Omega t + \dots) \quad (9)$$

Функція $B(t)$ кусково монотонна, періодична з періодом $T = \frac{2p}{\Omega}$ та обмежена на відрізку $-l \leq t \leq l$, тоді таку функцію можна навести у вигляді ряду Фур'є.

Визначимо коефіцієнти ряду Фур'є для уніполярних, симетричних відносно вісі координат трапеціодних імпульсів (рис.3, а).

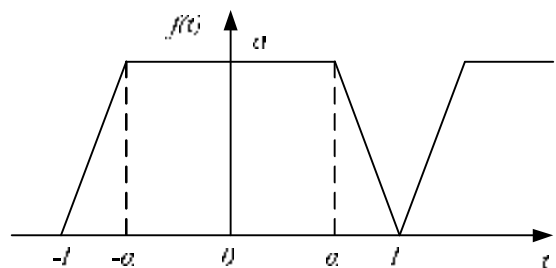


Рисунок 3 а - Уніполярні, симетричні відносно вісі координат трапеціодні імпульси

Параметри імпульсу описуються системою рівнянь:

$$f(t) = \begin{cases} a & 0 \leq t \leq a, \\ \frac{a(l-t)}{l-a} & a \leq t \leq l, \\ a & -a \leq t \leq 0, \\ \frac{a(l+t)}{l+a} & -a \leq t \leq -l. \end{cases} \quad (10)$$

Оскільки функція $f(t)$ парна, то коефіцієнти ряду знаходяться з рівнянь

$$a_0 = \frac{1}{l} \int_0^l f(t) dt, \quad (11)$$

$$a_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(t) \cos \frac{kpt}{l} dt.$$

Підставляючи в ці рівняння значення функції $f(t)$ із системи рівнянь (10), визначаємо коефіцієнти ряду Фур'є:

$$a_0 = \frac{1}{l} \int_0^a a dt + \frac{a}{l} \int_a^l \frac{l-t}{l-a} dt = \frac{aa}{l} + \frac{a(l-a)}{2l} = \frac{a(a+l)}{2l}.$$

Для уніполярного імпульсу магнітної індукції

$$B(t) = B_{\max} \left[\frac{p}{2} - \frac{4}{pa} (\sin a \cos \Omega t + \frac{1}{9} \sin 3a \cos 3\Omega t + \frac{1}{25} \sin 5a \cos 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n^2} \sin na \cos n\Omega t) \right], \quad (13)$$

де a - тривалість фронту та зрізу трапецеїдного імпульсу.

Через масштабний перетворювач K приведемо вихідний сигнал $B(t)$ до одного рівня зі зразковим входом $U(t)$:

$$U_1(t) = KB(t) = E \left(\frac{2a}{p} - \frac{4}{pa} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin a \cos \Omega t + \frac{1}{9} \sin 3a \cos 3\Omega t + \frac{1}{25} \sin 5a \cos 5\Omega t + \dots \right); \quad (14)$$

$$U_1(t) = KB(t) = E \left[\frac{2l-a}{2l} - \frac{2}{p} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{npa}{l} \cos \Omega t \right]; \quad (15)$$

де $l = \frac{T}{2}$ - півперіод,

d - тривалість фронту та зрізу.

Тоді коефіцієнти будуть мати вигляд:

$$a_k = \frac{2}{l} \int_0^a a \cos \frac{kpt}{l} dt + \frac{2a}{l} \times \int_a^l \frac{l-t}{l-a} \cos \frac{kpt}{l} dt = \frac{2a}{kp} \sin \frac{kpa}{l} + \frac{2a(l-t)}{(l-a)kp} \times \sin \frac{kpt}{l} \Big|_a^l - \frac{2al}{(l-a)(kp)^2} \times \cos \frac{kpt}{l} \Big|_a^l = \frac{2al}{(kp)^2(l-a)} \times (\cos \frac{kpa}{l} - \cos kp) = \frac{2al}{(l-a)(kp)^2} \times (\cos \frac{kpa}{l} - (-1)^k).$$

Ряд Фур'є для цієї функції має наступний вигляд:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{npt}{l} = \frac{a(a+l)}{2l} + \frac{2al}{p^2(l-a)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} [\cos \frac{npa}{l} - (-1)^n] \times \cos \frac{npt}{l}.$$

При $a = \frac{l}{3}$

$$f(t) = \frac{2}{3} a + \frac{9a}{p^2} \left(\frac{1}{2} \cos \frac{p}{l} t - \frac{1}{2 \cdot 4} \times \cos \frac{2p}{l} t - \frac{1}{2 \cdot 16} \cos \frac{4p}{l} t + \dots + \frac{1}{2 \cdot 25} \cos \frac{5p}{l} t \right) \quad (18)$$

Визначимо значення коефіцієнтів ряду Фур'є для загального випадку уніполярних трапецеїдних періодичних імпульсів (рис. 3, б). Параметри такої послідовності виражаються системою рівнянь:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{a(a+t)}{a} & -a \leq t \leq 0, \\ a & 0 \leq t \leq a, \\ \frac{a(2a-t)}{a} & a \leq t \leq 2a, \\ 0 & 2a \leq t \leq 3a; \end{cases} \quad (19)$$

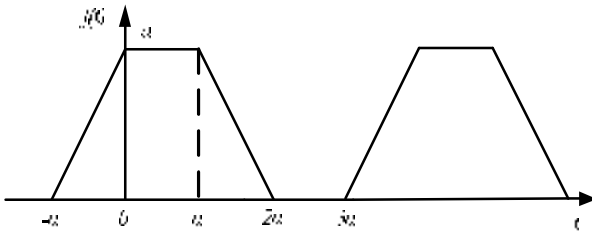


Рисунок 3 б - Загальний випадок уніполярних трапецоїдних періодичних імпульсів

Тоді коефіцієнти ряду дорівнюють:

$$a_0 = \frac{1}{2l} \int_{-a}^{3a} f(t) dt = \frac{1}{2l} \left\{ \int_{-a}^0 \frac{a(a+t)}{a} dt + \int_0^a a dt + \int_a^{2a} \frac{a(2a-t)}{a} dt + \int_{2a}^{3a} 0 dt \right\} = \frac{1}{2l} \left\{ \frac{aa}{2} + aa + \frac{aa}{2} \right\} = \frac{aa}{l} \quad (20)$$

$$a_k = \frac{1}{l} \int_{-a}^{3a} f(t) \cos \frac{kpt}{l} dt = \frac{1}{l} \left\{ \int_{-a}^0 \frac{a(a+t)}{a} \times \cos \frac{kpt}{l} dt + \int_0^a a \cos \frac{kpt}{l} dt + \int_a^{2a} \frac{a(2a-t)}{a} \times \cos \frac{kpt}{l} dt + \int_{2a}^{3a} 0 \cos \frac{kpt}{l} dt \right\} = \frac{al}{a(kp)^2} \times (\cos 0 - \frac{\cos 2kpa}{l}) = \frac{2al}{a(kp)^2} (1 - \cos \frac{2kpa}{l}) \quad (21)$$

$$b_n = \frac{1}{l} \int_{-a}^{3a} f(t) \sin \frac{kpt}{l} dt = \frac{1}{l} \left\{ \int_{-a}^0 \frac{a(a+t)}{a} \times \sin \frac{kpt}{l} dt + \int_0^a a \sin \frac{kpt}{l} dt + \int_a^{2a} \frac{a(2a-t)}{a} \times \sin \frac{kpt}{l} dt + \int_{2a}^{3a} 0 \sin \frac{kpt}{l} dt \right\} = \frac{al}{a(kp)^2} \sin 0 - \frac{al}{a(kp)^2} \sin \frac{kp(-a)}{l} + \frac{al}{a(kp)^2} \sin \frac{2kpa}{l} - \frac{al}{a(kp)^2} \sin \frac{kpa}{l} = \frac{al}{a(kp)^2} \sin \frac{2kpa}{l} \quad (22)$$

Таким чином ряд Фур'є для даної імпульсної послідовності буде мати вигляд:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \frac{npt}{l} + b_n \sin \frac{npt}{l}) = \frac{aa}{l} + \frac{al}{ap^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} [(1 - \cos \frac{2npa}{l}) \times \cos \frac{npt}{l} + \sin \frac{2npa}{l} \sin \frac{npt}{l}] = \frac{aa}{l} + \frac{al}{ap^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} [\cos \frac{npt}{l} - (\cos \frac{2npa}{l} \cos \frac{npt}{l} - \sin \frac{2pan}{l} \times \sin \frac{npt}{l})] = \frac{aa}{l} + \frac{al}{ap^2} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} [\cos \frac{npt}{l} - \cos(\frac{2npa}{l} + \frac{npt}{l})] = \frac{aa}{l} + \frac{2al}{ap^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \times \sin \frac{npa}{l} \sin(\frac{npa}{l} + \frac{npt}{l}). \quad (23)$$

Порівняємо доданки рівнянь (6) і (23), що характеризують сигнали функціонального генератора та магнітної індукції в ЗКМІ:

$$\frac{Et_u}{T} = \frac{Ea}{l}; \quad (24)$$

$$\frac{2El}{ap^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{npa}{l} \times \sin(\frac{npa}{l} + \frac{npt}{l}) = \frac{2E}{p} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\Omega t_u}{2} \cos \frac{n\Omega t_u}{2} \quad (25)$$

Перетворимо цей вираз, і з урахуванням того, що

$$\Omega = \frac{2p}{T} \quad (26)$$

$$l = \frac{T}{2} \quad (27)$$

отримаємо

$$\frac{Et_u}{T} = \frac{E2a}{T}, \quad (28)$$

тобто при

$$t_u = 2a \quad (29)$$

сталі складові рядів рівні. Тоді

$$\begin{aligned} & \frac{2ET}{2ap^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{2npa}{T} \sin \left[\frac{2np(a+t)}{T} \right] = \\ & = \frac{2E}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{2npt_u}{2T} \sin \frac{2np}{T} \left(\frac{p}{2} + t \right) \end{aligned} \quad (30)$$

Запишемо перший масштабний коефіцієнт ряду $f_2(t)$, із урахуванням, що $T = 2p$ і порівняємо його з аналогічним коефіцієнтом другого ряду:

$$\frac{E2p}{ap^2} = \frac{2E}{ap}; \quad (31)$$

За умови, що $a = 1$, ці коефіцієнти рівні:

$$\frac{2E}{ap} = \frac{2E}{p} \quad (32)$$

Прирівняємо синусні складові рядів

$$\sin \frac{2npa}{T} = \sin \frac{np t_u}{T} \quad (33)$$

та

$$\sin \left[\frac{2np(a+t)}{T} \right] = \sin \frac{2np}{T} \left(\frac{p}{2} + t \right) \quad (34)$$

Рівняння (33) при виконанні умови (29) перетворюється в тотожність.

Порівняємо аргументи рівняння (34)

$$\frac{2pn}{T}(a+t) = \frac{2pn}{T} \left(\frac{p}{2} + t \right) \quad (35)$$

При

$$a = \frac{p}{2} \quad (36)$$

рівняння (34) також перетворюється в тотожність.

Проте, за умови (36), перші масштабні коефіцієнти (32) рядів різні.

Запишемо рівняння обох рядів із урахуванням формул (27), (29), (36).

$$\begin{aligned} f_1(t) &= E \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n \frac{p}{2} \cos nt \right) = \\ &= \frac{E}{2} + \frac{2E}{p} \left(\cos t - \frac{1}{3} \cos 3t + \frac{1}{5} \cos 5t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{7} \cos 7t + \dots + \frac{1}{n} \sin n \frac{p}{2} \cos nt + \dots \right) \\ f_2(t) &= \frac{E}{2} + \frac{4E}{p^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \times \\ &\quad \times n \frac{p}{2} \cos nt = \frac{E}{2} + \frac{4E}{p^2} \left(\cos t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{9} \cos 3t + \frac{1}{25} \cos 5t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{49} \cos 7t + \dots + \frac{1}{n^2} \times \right. \\ &\quad \left. \times \sin \frac{np}{2} \cos nt + \dots \right) \end{aligned} \quad (37)$$

Оскільки для обох рядів виконується умова та ознака збіжності Діріхле та вони мають кусково безперервну першу похідну, абсолютну інтегровану другу похідну, то обидва ряди збігаються. Тому можемо здійснити почленне віднімання із суми рядів $f_1(t)$ і $f_2(t)$:

$$\begin{aligned} f_3(t) &= \Delta f(t) = f_1(t) - f_2(t) = \\ &= \frac{2E}{p} \left(1 - \frac{2}{p} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \cos nt = \\ &= \frac{2E}{p} \left[\left(1 - \frac{2}{p} \right) \cos t - \frac{1}{3} \left(1 - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{2}{3p} \right) \cos 3t + \frac{1}{5} \left(1 - \frac{2}{5p} \right) \cos 5t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{7} \left(1 - \frac{2}{7p} \right) \cos 7t + \dots \right] \end{aligned} \quad (38)$$

Позначивши через $c = \frac{2}{p} = 0,6366 \approx 0,64$,

отримаємо

$$\begin{aligned} \Delta f(t) = & c \cdot E[(1-c) \cos t - \frac{1}{3}(1-\frac{c}{3}) \times \\ & \times \cos 3t + \frac{1}{5}(1-\frac{c}{5}) \cos 5t - \frac{1}{7}(1-\frac{c}{7}) \times \\ & \times \cos 7t + \dots] = 0,64E(0,36 \cos t - \\ & - 0,26 \cos 3t + 0,18 \cos 5t - \\ & - 0,13 \cos 7t + 0,1 \cos 9t - \\ & - 0,086 \cos 11t + 0,073 \cos 13t - \\ & - 0,064 \cos 15t + 0,057 \cos 17t - \\ & - 0,05 \cos 19t + 0,046 \cos 21t - \\ & - 0,042 \cos 23t + 0,039 \cos 25t - \\ & - 0,036 \cos 27t + 0,034 \cos 29t - \\ & - 0,032 \cos 31t + 0,030 \cos 33t - \\ & - 0,028 \cos 35t + 0,027 \cos 37t - \\ & - 0,025 \cos 39t + \dots). \end{aligned} \quad (39)$$

Обмежимо ряд (39) гармонікою, так як внесок наступних гармонік не перевищує 2,5% значення вихідного сигналу. Потім, інвертуючи різницьвий сигнал $|\Delta \bar{f}(t)|$ та сумуючи з вихідним $f_1(t)$, а також подаючи результуючий сигнал $f_4(t) = f_1(t) + |\Delta \bar{f}(t)|$ до ЗКМІ, отримуємо магнітну індукцію $\bar{B}(t)$ поля, близьку до необхідної форми імпульсів $B(t)$.

Таким чином, при відтворенні періодичних імпульсів магнітних полів нами пропонується спосіб отримання необхідної форми періодичного імпульсного поля [3], заснований на порівнянні сигналів функціонального генератора $U(t)$ і сигналу $U_L(t)$, пропорційного струму $i(t)$, що протікає зразковою котушкою магнітної індукції, виділенні різницевого сигналу $\Delta U(t)$, його інвертуванні $\Delta|U|_1(t) = -\Delta U(t)$, сумуванні з вихідним сигналом $U(t)$ функціонального генератора та подачі результуючого сигналу $U_\Sigma(t)$ до ЗКМІ.

Результуючий сигнал дорівнює :

$$\begin{aligned} f(t) = & U_\Sigma(t) = U(t) + \Delta \bar{U}(t) = \\ = & E(\frac{1}{2} + \frac{2}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{np}{2} \cos nt) + \\ & + [-\frac{2E}{p}(1-\frac{2}{p}) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}(1-\frac{1}{n}) \cos nt]. \end{aligned} \quad (40)$$

При надходженні такого сигналу до зразкової котушки сумарний сигнал $B_\Sigma(t)$, використовуючи принцип накладання, дорівнює:

$$\begin{aligned} B_\Sigma(t) = & K_B K_{II} U_\Sigma(t) + K_B K_{I} U_I = \\ = & K_B (i_I + \Delta i + i_L) = K_B K_{II} [U_I(t) - \\ & - \Delta U + \frac{U_I}{Z}] = E(\frac{1}{2} + \frac{2}{p} \times \\ & \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n \frac{p}{2} \cos nt) - \frac{E}{2} - \\ & - \frac{4E}{p^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin n \frac{p}{2} \cos nt + \\ & + E(\frac{1}{2} + \frac{2}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n \frac{p}{2} \cos nt) + \\ & + \frac{E}{2} + \frac{4E}{p^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin n \frac{p}{2} \cos nt = \\ = & K_B K_{II} K (E \frac{1}{2} + \frac{2}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \times \\ & \times \sin n \frac{p}{2} \cos nt). \end{aligned} \quad (41)$$

Так, у результаті такої обробки сигналів у ЗКМІ, отримуємо потрібну форму періодичної послідовності квазі прямокутних імпульсів магнітної індукції.

Для загального випадку отримання практично будь-якої потрібної форми періодичних імпульсних магнітних полів необхідно до коректуючого ланцюга додатково ввести п-фільтрів із блоками масштабних перетворювачів (БМП) і m-фазорегулюючих ланцюгів, що забезпечують виділення, масштабне перетворення та фазову підтримку кожної гармоніки.

Потім сигнали n-гармонік сумують і через інтегратор подають до вхідного сумуючого пристрою (ВСП), що забезпечує сумування вихідного сигналу функціонального генератора та коректованого сигналу, що надходить до зразкової котушки магнітної індукції. Функція перетворення інтегратора

$W_{int}(p) = \frac{1}{W_{OKMI}(p)}$ зворотна функції перетворення ЗКМІ.

Нами запропонований та досліджений пристрій для генерації періодичного імпульсного МП у робочій зоні МФТА [2], що містить генератор 1 (рис. 4.), з'єднаний через лінію 2 затримки з котушкою індуктивності 3. До входів блоку порівняння 4 пристрою підключені виходи генератора та котушки індуктивності, а вихід блоку порівняння 4 з'єднаний з інвертором 5, який з'єднаний з системою n фільтрів 6. Виходи фільтрів 6 підключені до входів m фазорегулюючих ланцюгів 7, виходи яких з'єднані з секціями коректуючої котушки 8, яка індуктивно пов'язана з котушкою індуктивності 3 і разом утворюють зразкову міру магнітної індукції, в якій генерується задана форма магнітного поля.

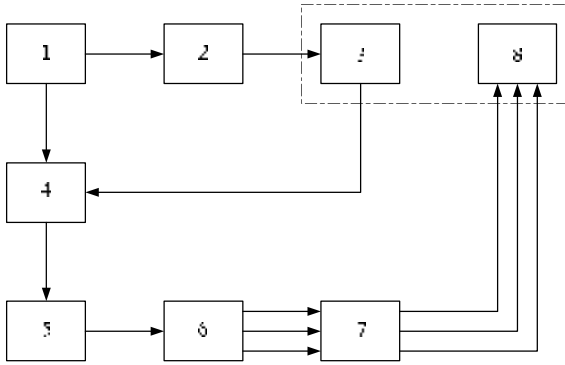


Рисунок 4 - Пристрій для генерації періодичного імпульсного магнітного поля (1-генератор, 2-лінія затримки, 3-котушка індуктивності, 4-блок порівняння, 5-інвертор, 6-система фільтрів, 7-фазорегулюючі ланцюги, 8-коректуюча котушка)

Спосіб реалізується наступним чином. Вихідний сигнал генератора 1 для квазіпрямокутного сигналу можна навести у вигляді ряду Фур'є (6). При надходженні такого сигналу в котушку індуктивності магнітна індукція $B(t)$ змінюється за експоненціальною залежністю:

$$B(t) = K_B \frac{U_G}{Z} = K_B \cdot I(t), \quad (42)$$

де $B(t)$ - стала котушки індуктивності за магнітною індукцією;

U_G - напруга генератора;

$I(t)$ - струм у котушці індуктивності;

Z - повний опір вихідного ланцюга.

Ряд Фур'є для пропорційного сигналу $B(t)$ з початком відліку від початку координат має вигляд (23).

Результуючий сигнал у котушці описується рівнянням (41), що забезпечує відтворення періодичної послідовності імпульсів магнітної індукції заданої форми з похибкою (1-2,5) %.

Висновки. Таким чином для відтворення потрібної форми періодичного імпульсного МП у прецизійних джерелах імпульсного МП із замкнутою структурною схемою найбільш доцільно використовувати порівняння заданого сигналу необхідної форми та сигналу, пропорційно струму, що протікає зразковою котушкою, а відповідно пропорційний сигналу магнітної індукції та різницеvim сигналом, із урахуванням фазових та амплітудних співвідношень корегувати вихідний сигнал $B(t)$.

Для підтримання зразкового стабілізованого значення параметрів періодичних імпульсних МП доцільно застосувати систему корекції вихідного струму $i(t)$ у зразковій мірі магнітної індукції та з заданими параметрами вхідного сигналу $U_{ex}(t)$, що разом із сигналом корекції, протікаючи витками ЗКМІ, відтворюють потрібну форму $B(t)$ імпульсу МП із високою точністю та стабільністю.

Запропоновані способи відтворення та принципи побудови прецизійних джерел імпульсних МП дозволяють отримати періодичні імпульсні МП із похибкою не більше 2,5 ± 1%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуховицкий Б.Я. Сигналы телемеханики и их преобразования. - Б-ка ПО автоматика. - Вып. 81. - М. -Л.: Госэнергоиздат. - 1963. - С. 96.
2. А.с. 1594465 СРСР МПК G 01 R 33/02. Устройство для воспроизведения периодического импульсного магнитного поля/ Терещенко Н.Ф., Кривасов А.К., Кудрявцев С.И. Заявка № 4348515/24-21. Заявл. 23.12.1987. Оpubл. 23.09.1990. Бюл. № 35, 1990.
3. Терещенко Н.Ф. Способы повышения точности воспроизведения формы импульсного магнитного поля// Сб. науч. тр. Электромагнитные и тепловые процессы в электромеханических преобразователях и технологических установках. - Киев: ИЭД АН УССР, 1988. -Сс. 59-70.

Стаття надійшла 23.12.2008 р.
Рекомендовано до друку, доц.
Сисюком Г.Ю.