

торые параметры пучков, отраженных зеркальным тетраэдрическим отражателем с одной цилиндрической поверхностью при произвольной ориентации отражателя и любом положении цилиндрической поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко И. Д., Ханов Б. Ю. — ОМП, 1975, № 12, с. 21.
2. Тудоровский А. И. — Труды ГОИ, 1941, т. 14, вып. 112—120, с. 137.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М., 1973.

Поступила в редакцию
12.06.80.

Кафедра электрофизики

УДК 621.396.963.8

Б. Н. КРАСНОГОЛОВЫЙ

СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАЗВЕРТОК

До сих пор предполагалось, что ОС является идеальной индуктивностью, и управляющий ток представляет собой ток через катушку индуктивности, создающий отклонение луча [1]. В эквивалентную схему реальной ОС (рис. 1), кроме индуктивности L , входят омическое сопротивление R_k , распределенная емкость C и параллельное сопротивление R , включением которого учитываются потери на вихревые токи (в катушках с ферромагнитным сердечником) или потери в специально поставленном шунтирующем сопротивлении.

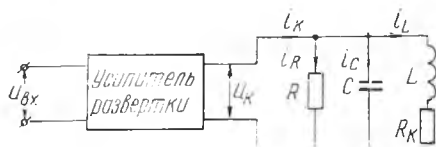


Рис. 1. Эквивалентная схема включения отклоняющей системы

Теперь уже род управляющего сигнала (напряжение или ток) и его форма будут зависеть не только от параметров ОС, но и от типа усилителя развертки, нагруженного на отклоняющую систему.

Если усилитель развертки обладает низким выходным сопротивлением (близок к генератору напряжения), форма управляющего напряжения u_k определяется как

$$u_k = u_L + u_{R_k} = L \frac{di_L}{dt} + i_L R_k. \quad (1)$$

Подставляя в (1) в соответствии с выражением (13) из [1] $i_L = At / \sqrt{1+Bt^2}$ для линейной развертки, получаем

$$u_k = AL(1+Bt^2)^{-3/2} + AR_k t(1+Bt^2)^{-1/2}. \quad (2)$$

Управляющее напряжение без учета дисторсии, как известно, имеет вид [2, 3]

$$u'_k = kL + kR_k t. \quad (3)$$

Сравнивая выражения (2) и (3), легко заметить, что в напряжении u_k обе составляющие оказались зависимыми от времени. Кроме того, начальный перепад напряжения $u_k(0) = AL = k_2 L / (NR_0)$, т. е. уменьшился в NR_0 раз.

При подключении ОС к усилителю развертки с высоким выходным сопротивлением (генератору тока) для управляющего тока i_k , повторяющего форму входного напряжения $u_{вх}$, получим

$$i_k = i_L + i_C + i_R, \quad (4)$$

где $i_L = At(1+Bt^2)^{-1/2}$; $i_C = C \frac{du_k}{dt} = \delta(t) + A\{R_k C[(1+Bt^2)^{-1/2} - Bt^2(1+Bt^2)^{-3/2}] - 3BCLt(1+Bt^2)^{-5/2}\}$; $i_R = \frac{u_k}{R} = \frac{AL}{R}(1+Bt^2)^{-3/2} + \frac{AR_k}{R}t(1+Bt^2)^{-1/2}$.

Суммируя отдельные составляющие, для i_k получим

$$i_k = \delta(t) + A \{ [CR_k + (R_k/R + 1)t] (1 + Bt^2)^{-1/2} + (L/R - BCR_k t^2) (1 + Bt^2)^{-3/2} - 3BCLt (1 + Bt^2)^{-5/2} \}. \quad (5)$$

Выражение для управляющего тока без учета дисторсии имеет вид [2, 3]

$$i_k^* = \delta(t) + kCR_k + kt. \quad (6)$$

Сравнивая (5) и (6), замечаем, что в рассматриваемом случае $i_k(0) = A(CR_k + L/R)$, если не принимать во внимание дельта-импульс $\delta(t)$, а при $t > 0$ форма i_k за счет дисторсии существенно отличается от линейной.

Графики зависимостей $u_k(t)$ и $i_k(t)$, соответствующие выражениям (2) и (5), приведены на рис. 2.

При более детальном рассмотрении выражения (2) в кривой $u_k(t)$ обнаруживаются две экстремальные точки (рис. 3). В результате исследования уравнения (2) на экстремум получаем $t_{\max(\min)} = 3/2 \cdot L/R_k (\pm) (\pm) \sqrt{(3/2 \cdot L/R_k)^2 - 1/B}$, а значения $U_{k,\max(\min)}$ легко находятся при подстановке в (2) $t_{\max}$ и $t_{\min}$. Так как $B = k_2^2 (1/R_0^2 - 1/R_3^2) = (D_{\text{раб}}/(2t_p))^2 \times (1/R_0^2 - 1/R_3^2)$, то положения $t_{\max(\min)}$ и значения $U_{k,\max(\min)}$ зависят от длительности развертки t_p .

Что касается максимума, то с увеличением t_p точка $t_{\max}$ сдвигается «вправо» при одновременном уменьшении $U_{k,\max}$. Если выполняется условие $\sqrt{(3/2 \cdot L/R_k)^2 - 1/B} < 3/2 \cdot L/R_k - t_p$, то $t_{\max} > t_p$ и точка максимума выходит за пределы t_p , т. е. кривая $u_k(t)$ принимает вид, показанный на рис. 2, а. Как нетрудно показать, условию $t_{\max} > t_p$ соответствует выполнение неравенства $t_p > (3L/R_k)/(1 + 4/(D_{\text{раб}}^2(1/R_0^2 - 1/R_3^2)))$.

Приведенный синтез u_k и i_k выполнен на основании общего выражения для отклонения луча (5) в работе [1] в предположении, что $l_1 + l_2 \approx R_3$, $l_2 \approx R_0$, т. е. поверхность экрана считалась почти плоской.

Для снятия этого ограничения преобразуем выражение (5) из [1], подставив в него $l_2 = x/\text{tg } \alpha$. В результате получим квадратное уравнение, решением которого будет отклонение

$$x = R_3 [\sqrt{1 - (1 - R_0/R_3)^2 \sin^2 \alpha} - (1 - R_0/R_3) \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}] \sin \alpha. \quad (7)$$

Произведя замену $\sin \alpha = Ni$ и решив полученное уравнение относительно i , в результате громоздких преобразований, которые здесь опущены, получим

$$i = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{[(1 - R_0/R_3)^2 + 1] + 2(1 - R_0/R_3) \sqrt{1 - x^2/R_3^2}}{(2 - R_0/R_3)^2 R_0^2 + 4(1 - R_0/R_3)^2 x^2}} \cdot x, \quad (8)$$

Если в формулу (8) подставить $x = k_2 t$, то для линейной развертки будем иметь

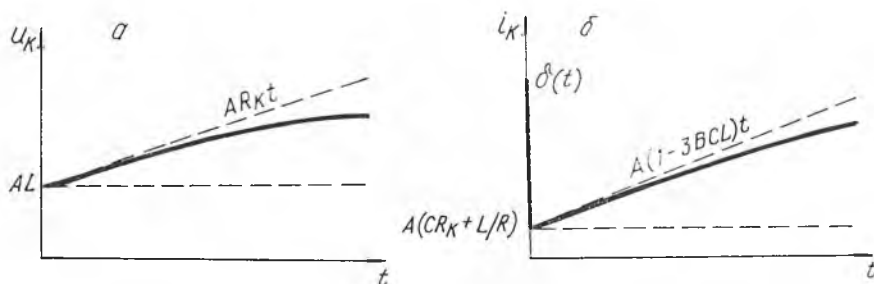


Рис. 2. Временные диаграммы управляющих сигналов для линейной развертки:
а — управляющее напряжение $u_k(t)$; б — управляющий ток $i_k(t)$

$$i = \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t, \quad (9)$$

$$\text{где } a = \left[\frac{k_2}{NR_0(2 - R_0/R_3)} \right]^2 [(1 - R_0/R_3)^2 + 1];$$

$$b = 2 \left[\frac{k_2}{NR_0(2 - R_0/R_3)} \right]^2 (1 - R_0/R_3);$$

$$c = \left(\frac{k_3}{R_3} \right)^2; \quad g = \left[\frac{2k_2(1 - R_0/R_3)}{R_0(2 - R_0/R_3)} \right]^2.$$

Выполнив преобразования, аналогичные (1), (2) и (4), для управляющих сигналов получим

$$u_k = u_L + u_{R_k} = L \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t \times \\ \times \left[\frac{bct}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} - \frac{gt}{1 + gt^2} + \frac{1}{t} \right] + \\ + \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t \cdot R_k; \quad (10)$$

$$i_k = i_L + i_R + i_C = \delta(t) + \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t + \\ + \frac{1}{R} \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t \left[-\frac{bcLt}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} - \right. \\ \left. - \frac{gLt}{1 + gt^2} + \frac{L}{t} + R_k \right] + c \sqrt{\frac{a + b \sqrt{1 - ct^2}}{1 + gt^2}} \cdot t \times \\ \times \left[-\frac{bcLt}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} - L \frac{gt}{1 + gt^2} + \frac{L}{t} + R_k \right] \times \\ \times \left\{ -\frac{bct}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} - \frac{gt}{1 + gt^2} + \frac{1}{t} + \right. \\ \left. + \frac{1}{-\frac{bcLt}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} - \frac{gLt}{1 + gt^2} + \frac{L}{t} + R_k} \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{bcLt}{2(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} \left(\frac{bct}{(a + b \sqrt{1 - ct^2}) \sqrt{1 - ct^2}} + \frac{ct}{1 - ct^2} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{1}{t} \right) - \frac{gLt}{1 + gt^2} \left(\frac{1}{t} - \frac{2gt}{1 + gt^2} \right) - \frac{L}{t^2} \right] \right\}. \quad (11)$$

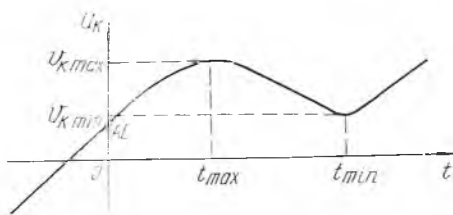


Рис. 3. К исследованию зависимости $u_k(t)$ на экстремум

Исследование зависимости $u_h(t)$ на экстремум и уточнение выражений для x , u_h и i_h выполнены студентом С. В. Труханом.

Сложность выражений (10) и (11) не позволяет легко оценить характер зависимостей $u_h(t)$ и $i_h(t)$ аналитически, но общие закономерности, установленные выше, сохраняются (в том числе и наличие экстремумов в зависимости $u_h(t)$).

Расчеты по уточненным формулам дают несколько меньшие значения ошибки отклонения γ , причем различие в величинах γ , рассчитанных по упрощенной и более точной формулам, уменьшается по мере приближения поверхности экрана ЭЛТ к плоскости.

Для трубки 45ЛМ1В, например, ошибка отклонения γ , рассчитанная для $\alpha_{\max}$ с помощью приближенного выражения (8) из [1], составила 8,5 %, а с использованием более точного выражения (7) оказалась рав-

ной 5,5 %, т. е. уменьшилась в 1,6 раза. Для кинескопа 23ЛК9Б с более плоским экраном в первом случае $\gamma=28\%$, а во втором — 23,5 %, т. е. уменьшение γ произошло всего в 1,2 раза.

Следовательно, упрощенными формулами для x , u_k и i_k можно пользоваться только применительно к кинескопам, у которых $R_0/R_3 \ll 1$. Для индикаторных ЭЛТ расчеты нужно производить по уточненным выражениям, используя ЭВМ.

Синтез управляющих сигналов с учетом дисторсии и параметров ОС может быть выполнен и для специальных электромагнитных разверток подобно тому, как это сделано применительно к линейной развертке. Общая схема метода представляется следующей.

1. Для заданного закона перемещения луча $x(t)$ (типа электромагнитной развертки) при выбранной ЭЛТ оцениваются искажения развертки за счет дисторсии: определяется ошибка отклонения $\gamma = (x - x')/x$ как функция угла отклонения, причем отклонение рассчитывается по приближенной (8) из [1] или уточненной (7) формуле. Если в формулу (8), или в более точное выражение (7) при $\sin \alpha = Ni$, подставить $i \sim x(t)$, можно получить зависимость ошибок отклонения от времени аналогично (11) из [1] для линейной развертки.

2. Если искажения окажутся неприемлемыми, по формулам (12) из [1] или (8) находится форма отклоняющего тока $i(t)$ для коррекции дисторсии при заданном отклонении $x(t)$.

3. Определяются управляющие сигналы $u_k(t)$ и $i_k(t)$ по формулам (1) и (4) при подстановке в них $i_L = i(t)$.

4. При необходимости вводится аппроксимация управляющих сигналов и дается оценка получающимся при этом искажениям.

5. Разрабатываются способы формирования управляющих и входных сигналов, т. е. схемы генераторов напряжения развертки специальной формы и усилителей тока развертки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красногоровый Б. Н. — Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1982, № 3, с. 12.
2. Расчет элементов импульсных радиотехнических устройств / Под ред. Ю. М. Казаринова. — М., 1963.
3. Красногоровый Б. Н. Проектирование и расчет элементов индикаторных устройств. — Минск, 1971.

Поступила в редакцию
26.06.89.

Кафедра ЭММ

УДК 621.396

Г. П. ЛИЧКО

ОБ УМЕНЬШЕНИИ УГЛОВЫХ ДИСКРЕТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Одним из алгоритмов восстановления диаграмм направленности (ДН) антенн с помощью ЭВМ по измерениям амплитудно-фазового распределения (АФР) поля в ближней зоне на плоскости является дискретное преобразование Фурье (ДПФ), вычисляемое с применением алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). При использовании ДПФ угловые дискреты $\Delta\theta$ и $\Delta\varphi$ восстановления ДН, однозначно связанные с пространственными частотами U , V , зависят от длин M , N входного массива F , полученного при фиксированных шагах дискретизации АФР. Во многих случаях большая величина угловых дискретов восстановления ДН затрудняет как определение параметров ДН остронаправленных антенн, например, направление максимума ДН, ширину главного лепестка по половинной мощности, так и графический вывод ДН с автомати-