ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ

(Фрагмент ст.: «ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ»./ Куренный Э.Г., Дмитриева Е.Н., Чепкасов Ю.И., Коломытцев А.Д., Абу Сиам.)

Физический смысл кумулятивной дозы состоит в том, что она оценивает энергию воздействий помехи за предшествующий моменту времени отрезок длительностью θ. При надлежащем выборе длительности дозы ординаты процесса $\psi_{\theta Э} = \dfrac{1}{\theta}\int\limits_{t-\theta}^{t}\xi^2(t)dt$ (2.1) характеризуют последствия воздействия некачественного напряжения на ЭП, а потому могут приниматься в качестве динамических ПКН.

Поскольку ординаты процесса $\xi(t)$ выражены в о.е. или процентах, дозы имеют размерность квадратов этих единиц, что не совсем удобно. Поэтому для приведения размерности ПКН к размерности помехи вместо (2.1) будем использовать кумулятивный процесс

$$x_{\theta Э}(t) = \sqrt{\psi_{\theta Э}(t)}\,, \tag{2.4}$$

что соответствует практике нормирования.

Физический смысл инерционной дозы состоит в том, что она оценивает инерционность ЭП к воздействию на него некачественного напряжения. При правильном выборе величины Т (например, постоянная нагрева) инерционная доза также может быть принята в качестве динамического ПКН.

Для удобства нормирования вместо (2.2) можно использовать приведенный инерционный процесс

$$x_{TЭ}(t) = \sqrt{\psi_{TЭ}(t)}\,, \tag{2.5}$$

ординаты которого будут измеряться в о.е. или процентах.

Ординаты процессов (2.4) и (2.5) будем именовать приведенными дозами второго порядка.

Динамические ПКН могут быть различными - в зависимости от того, воздействие на какую группу ЭП они будут оценивать. При необходимости динамические ПКН можно связать с прямыми ПКН. Для расширения требований существующих стандартов на более общие случаи рассмотрения прямых ПКН не требуется, поскольку достаточно поставить в соответствие существующие, например, и предлагаемые ПКН для определенных частных случаев, где оценки по ним должны совпадать.

Очевидно, при этом и допустимые значения дозы $\psi_{доп}$ или приведенной дозы $x_{доп}$ будут поставлены в соответствие с допустимыми значениями существующих ПКН. Оценка ЭМС в общем случае будет заключаться в сопоставлении $\psi_{доп}$ с расчетным максимальным значением дозы ψ_{Mx} процесса $\psi(t)$, которая может быть определена методами теории случайных процессов и автоматического управления

$$\psi_{Mx} \le \psi_{доп}. \tag{2.6}$$

Для этого необходимо найти вероятностное распределение $f(\psi)$ ординат графика доз и в соответствии с принципом практической уверенности определить максимальное значение дозы из условия (рис. 2.2)

$$F(\psi_{Mx}) = \int_{0}^{\psi_{Mx}} f(\psi)d\psi = 1 - E_x, \tag{2.7}$$

где E_x - заданная граничная вероятность, $F(\psi)$ - интегральная функция распределения доз. Для решения этой задачи на выходе энергетического блока модели в общем случае требуется установка статистического анализатора.

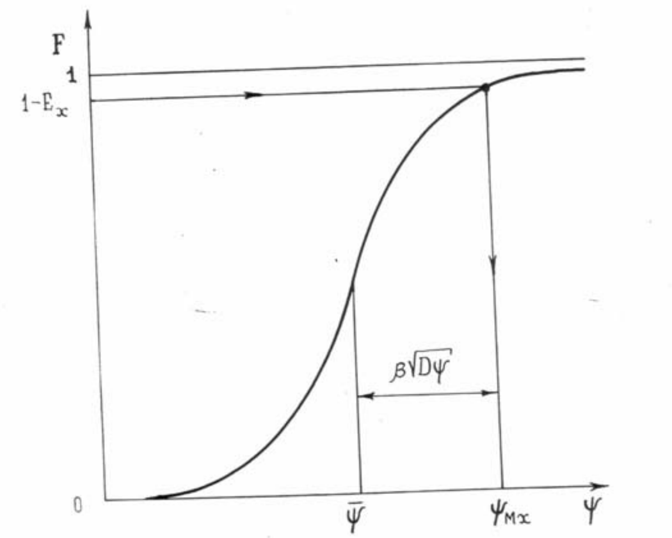

Рисунок 2.2 – Определение расчетного максимального значения дозы по графику интегральной функции распределения доз

Известно, что инерционные системы нормализируют процессы на их выходе. Поэтому вероятностное распределение доз можно считать нормальным. В этом случае, расчетное максимальное значение ψ_{Mx} может быть определено из выражения

$$\psi_{Mx} = \bar{\psi} + \beta\sqrt{D\psi}, \tag{2.8}$$

где $\bar{\psi}$ и $D\psi$ - соответственно среднее значение и дисперсия процесса $\psi(t)$, а β - статистический коэффициент, однозначно связанный с граничной вероятностью.

Среднее значение графика доз равно квадрату эффективного значения процесса $\xi(t)$ на выходе блока воздействий

$$\overline{\psi}(t) = \xi_Э^2(t). \tag{2.9}$$

Необходимо отметить, что величины ψ_{Mx} и $\overline{\psi}$ имеют четкий физический смысл и связаны с прямыми ПКН. Так, среднее значение дозы согласно (2.9) пропорционально среднему нагреву электроприемника, а расчетное максимальное значение (2.8) - наибольшему расчетному нагреву, обусловленному наличием помехи.

В частном случае оценки ЭМС по несинусоидальности напряжения помеха представляется как сумма высших гармонических составляющих напряжения, средние значения которых равны нулю. Следовательно, процесс $\xi(t)$ будет иметь нулевое среднее значение, а среднее значение графика доз равно дисперсии этого процесса

$$\overline{\psi} = D\xi. \tag{2.10}$$

Тогда

$$\psi_{Mx} = D\xi + \beta\sqrt{D\psi}. \tag{2.11}$$

Поскольку постоянная инерции Т инерционного блока достаточно велика, то это приводит к значительному сглаживанию процесса $\xi^2(t)$. В результате интегральная функция распределения доз будет пологой в области максимальных значений, а ψ_{Mx} будет мало отличаться от наибольшей ординаты (текущего максимума) ψ_M процесса изменения доз. Тогда вместо (2.6) получим условие ЭМС

$$\psi_M < \psi_{доп},$$

которое можно записать в виде

$$\psi(t) < \psi_{доп}. \tag{2.12}$$

Из сказанного следует, что принципиальным преимуществом предлагаемых динамических ПКН перед существующими является отсутствие необходимости применения статистических анализаторов после инерционного или энергетического блоков. Это существенно упрощает расчет и измерение ПКН.

Условие (2.12) приводит к погрешности

$$\delta_{\psi} = \left(\sqrt{\frac{\psi_M}{\psi_{Mx}}} - 1 \right) \cdot 100\text{, \%,} \tag{2.13}$$

оценить которую можно для некоторых частных случаев, для которых имеется решение согласно (2.11).

Необходимо отметить, что определение значений существующих ПКН с интегральной вероятностью 95 %, т.е. при E_x=0,05, приводит к завышению требований к качеству напряжения, поскольку расчетные максимумы помехи или входного процесса всегда будут больше расчетных значений сглаженных процессов на выходе инерционного блока.

Можно принять, что кумулятивная или инерционная дозы совпадают с квадратом эффективного значения процесса $\xi(t)$ на выходе блока воздействия

$$\psi_{\theta}(t) \approx \xi_{Э}^2(t). \tag{2.14}$$

Оценим погрешность этой формулы для случая, когда помеха представляет собой гармонический сигнал

$$u_{\text{п}}(t) = U_{M\text{п}} \sin \omega t$$

с амплитудой $U_{M\text{п}}$ и угловой частотой ω, на выходе блока воздействия будет также гармонический процесс

$$\xi(t) = \xi_M \sin \omega t$$

с амплитудой ξ_M, определяемой амплитудно-частотной характеристикой блока воздействия (фазу процесса $\xi(t)$ для простоты будем считать равной нулю). Согласно (2.1) кумулятивная доза

$$\psi_{\theta}(t) = \frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^{t} \xi_M^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{\xi_M^2}{2} \left[1 - \frac{\sin \omega\theta}{\omega\theta} \cos(2t - \theta) \right], \tag{2.15}$$

Как видно из выражения (2.15), перед скобками стоит квадрат эффективного значения $\xi_{Э}^2 = \xi_M^2 / 2$ процесса $\xi(t)$. Погрешность оценки дозы согласно (2.14) вместо (2.15) будет определяться вычитаемым в (2.15), которое по абсолютной величине не превосходит $(\sin \omega\theta)/(\omega\theta)$. Тогда наибольшее значение относительной погрешности применения формулы (2.14) составит

$$\delta_{\theta M} = \frac{\left|(\sin \omega\theta)/(\omega\theta)\right|}{-1-\left|\sin \omega\theta\right| / \omega\theta} \cdot 100, \%. \tag{2.16}$$

На рис. 2.3 приведен рассчитанный по формуле (2.16) график зависимости погрешности от величины $\omega\theta / \pi$, из которого видно, что при $\omega\theta / \pi >$ 2,75 погрешность будет меньше 10 % и ею можно пренебречь. Этому соответствует небольшое значение $\theta = 0{,}028$ с, чуть большее периода t_f. Для высших гармоник этот вывод тем более справедлив, так как при больших частотах погрешность будет еще меньше.

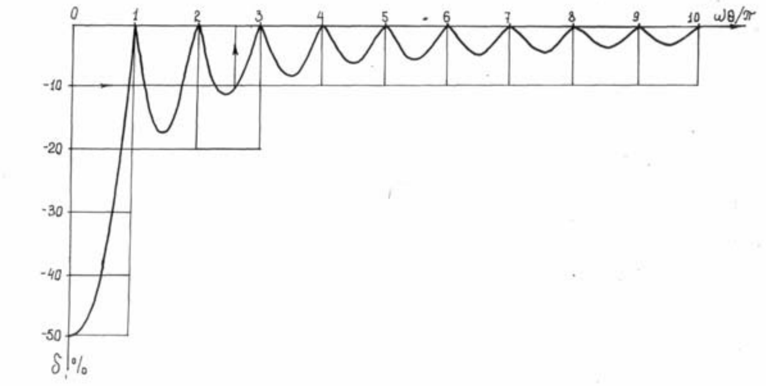

Рисунок 2.3 – Погрешность вычисления дозы по квадрату эффективного значения процесса на выходе блока воздействия

Полученный вывод находится в соответствии с существующей практикой нормирования действующих, а не мгновенных значений величин, так как вместо (2.14) можно записать

$$\psi(t) \approx \Xi^2(t) \tag{2.17}$$

где Ξ - действующее значение помехи. Более того, поскольку для наблюдаемых на практике помех среднее и эффективное значения процесса Ξ(t) близки, то можно в блоках энергетической и инерционной оценок квадратор, не ставить, но предусмотреть блок выделения действующих значений* процесса $\xi(t)$, который может быть совмещен с блоком воздействий.

В этом случае можно говорить о дозах первого порядка, которые имеют размерность, что и процесс $\xi(t)$, и будут в дальнейшем обозначаться $x_\theta(t)$ и $x_T(t)$. На выходах блока осреднения и инерционного блока получим

---

* Математическое ожидание текущих значений $\xi(t)$ равно нулю, а математическое ожидание действующих значений этого процесса отлично от нуля. Для краткости различий в обозначениях для обоих процессов не делается, применяется одно обозначение $\xi(t)$.

процессы

$$x_\theta(t) = L_\theta\left[\xi(t)\right], \qquad (2.18)$$

$$x_T(t) = L_T\left[\xi(t)\right], \qquad (2.19)$$

где L_θ и L_T соответственно операторы осреднения и инерционного сглаживания. Очевидно, в отличие от (2.4) и (2.5) приведения здесь не требуется.

Таким образом, доза, являющаяся динамическим ПКН, обладает рядом преимуществ перед существующими ПКН. Она имеет наглядный физический смысл, математическое выражение и применима для любого вида помех. Кроме того, применение динамических ПКН исключает завышение требований к качеству напряжения, что позволяет уменьшить затраты на обеспечение ЭМС и аппаратурный контроль КЭ.