

Relación entre la distribución de amplitud de campo electromagnético, sus máximos y uniformidad en cámara de reverberación

Miguel Ángel García Fernández, David Sánchez Hernández
 Grupo de Ingeniería de Microondas, Radiocomunicaciones y Electromagnetismo
 Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena
 Antiguo Cuartel de Antigonos. Plaza del Hospital, N° 1, 30202 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968 32 5376; Fax: 968 32 5973
 E-mail: garciafernandez.ma@upct.es

Resumen. Las cámaras de reverberación (CR) son actualmente una herramienta comúnmente aceptada para la evaluación de sistemas de comunicaciones inalámbricos, y su estandarización está en proceso. Antes de realizar medidas activas de sistemas de comunicaciones inalámbricos usando una CR, la uniformidad de campo electromagnético en su volumen de trabajo debe ser medida siguiendo el método de calibración descrito en los estándares IEC 61000-4-21 y 61000-4-3, que requiere 24 medidas de calibración de amplitud de campo. En esta contribución presentamos las leyes estadísticas que describen la distribución de máximos de campo electromagnético, y basados en ellas, una novedosa ecuación que podría ser útil para obtener un límite inferior para el número de posiciones de agitadores electromagnéticos requeridas como mínimo para obtener un valor específico de dispersión normalizada, utilizada para evaluar la uniformidad de campo con el método de calibración del IEC, siendo por tanto de particular interés para medidas inalámbricas.

1. Introducción

Una cámara de reverberación (CR) es una cavidad cerrada altamente conductiva y eléctricamente grande, comúnmente aceptada como herramienta para la realización de medidas electromagnéticas de equipamiento electrónico para la evaluación de sistemas de comunicación inalámbricos. Una CR suele estar equipada con agitadores mecánicos que modifican sus condiciones de contorno de campo electromagnético (EM) para excitar un número suficiente de modos y lograr uniformidad e isotropía estadísticas con independencia de la posición [1] excepto para aquellos puntos de observación cercanos a sus paredes [2]. La uniformidad de campo EM permite evaluar el comportamiento de la CR, y su definición está basada en el procedimiento de calibración del IEC [3, 4]. El campo se determina en 8 puntos localizados en las esquinas del volumen de trabajo, como se muestra en la Fig. 1, y se normaliza respecto de la raíz cuadrada de la potencia de entrada. Para cada una de las 8×3

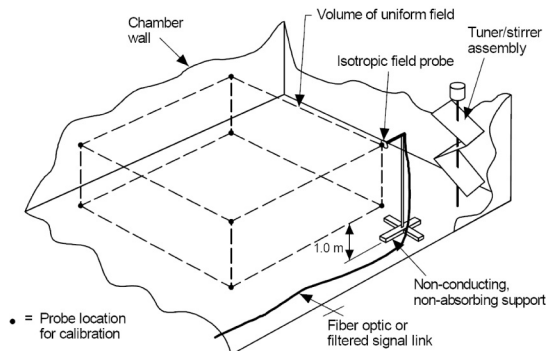


Fig. 1. Volumen de trabajo de una CR [3].

componentes rectangulares de campo normalizadas, E_R , se obtiene el máximo valor, $E_{R Max}$, para N^* posiciones de agitador, y se calcula la media $\langle E_{R Max} \rangle$ y desviación típica $\sigma_{E_{R Max}}$ de dichos valores máximos, $E_{R Max}$. Entonces, la uniformidad de campo se evalúa calculando una dispersión normalizada,

$$S(dB) = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{\sigma_{E_{R Max}}}{\langle E_{R Max} \rangle} \right) \quad (1)$$

Ésta es típicamente la figura de mérito utilizada para evaluar las prestaciones de una CR, dado que el campo en ella se considera uniforme si $S(dB)$ es inferior a 3 dB (a frecuencias superiores a 400 MHz) [3]. Así, la uniformidad de campo es un requisito para que una CR pueda utilizarse para pruebas de compatibilidad electromagnética. Una vez se consigue la uniformidad de campo en el volumen de trabajo de la CR, si se desea un valor específico de $S(dB)$ menor para obtener mayor precisión en determinadas medidas, se requeriría un mayor número N^* de posiciones de agitador, y si éste se determinara sólo por ensayo y error, aumentarían los costes de calibración. Por tanto, en esta contribución presentamos las leyes estadísticas que describen la distribución de máximos de campo, y basados en ellas desarrollamos una nueva formulación que relaciona la dispersión normalizada con el número N de muestras independientes entre las dadas por las N^* posiciones de agitador (cuya relación se estima en [5]) cuando hay uniformidad en la distribución de amplitud de las 3 componentes rectangulares de campo en las 8 esquinas del volumen de trabajo de la CR. Esta formulación no reemplaza el método de calibración IEC [3, 6], dado que la única manera de

asegurar la uniformidad requerida es realizar las correspondientes 24 medidas para N^* posiciones de agitador, y comprobar que las muestras obtenidas están idénticamente distribuidas, siguiendo una determinada ley asintótica con función de distribución conocida. Pero una vez se cumple esto, la formulación presentada puede ayudar a buscar el número N^* de posiciones de agitador necesarias para obtener un determinado valor inferior de S (dB) más rápidamente que sólo mediante ensayo y error, reduciendo los costes de calibración. Esta formulación ha sido validada mediante simulaciones mediante el método de Montecarlo, siguiendo el trabajo presentado en [4], siendo por tanto de especial interés para medidas inalámbricas.

2. Distribución de máximos de amplitud y su relación con la uniformidad de campo EM

Partiendo del análisis estadístico presentado en [7], se puede concluir que si la amplitud de una componentes rectangulares de campo normalizada, E_R , en el volumen de trabajo de la CR sigue una distribución $F(x)$, entonces los máximos entre las N muestras independientes obtenidas mediante el proceso de agitación electromagnética, $E_{R\ Max}$, seguirán una función de distribución Gumbel [8],

$$G(y; a_N, b_N) = \exp \left[-\exp \left[-\frac{y - a_N}{b_N} \right] \right] \quad (2)$$

donde sus parámetros de localización y escala, a_N y b_N respectivamente, vienen dados por

$$\begin{aligned} a_N &= F^{-1} \left(1 - \frac{1}{N} \right) \\ b_N &= F^{-1} \left(1 - \frac{1}{N e} \right) - F^{-1} \left(1 - \frac{1}{N} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Así, y dado que la convergencia en distribución de los máximos de variables aleatorias no negativas implica la convergencia de sus momentos [7], estos pueden calcularse, viniendo su media, $\langle E_{R\ Max} \rangle$, y desviación estándar, $\sigma_{E_{R\ Max}}$, dados por

$$\begin{aligned} \langle E_{R\ Max} \rangle &= a_N + \gamma b_N \\ \sigma_{E_{R\ Max}} &= \frac{\pi}{\sqrt{6}} b_N \end{aligned} \quad (4)$$

donde $\gamma = 0.5772\dots$ es la constante de Euler. Asimismo, para el caso particular de tener uniformidad de campo (además de convergencia en distribución), dicha uniformidad puede también ser evaluada mediante

$$\tilde{S} (dB) = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{1}{\gamma + \frac{a_N}{b_N}} \right) \quad (5)$$

obtenida al sustituir (4) en (1). Aunque $\tilde{S} (dB)$ no es necesariamente igual que $S (dB)$, la ventaja de (5) es poder calcular el número N^* de posiciones de agitador que se requerirán como mínimo para obtener una menor dispersión normalizada (una vez que se tiene uniformidad de campo y convergencia en distribución). Así, (5) puede ser útil también para el cálculo del número N de muestras independientes, entre las dadas por las N^* posiciones de agitador, a partir del valor de $S (dB)$ obtenido de acuerdo con los estándares de IEC [3, 6], para el caso de tener convergencia en distribución.

3. Validación mediante el método de Montecarlo

Siguiendo el trabajo presentado en [4], usamos el método de Montecarlo para confirmar que la distribución de máximos de campo EM converge asintóticamente a una Gumbel, y validar que sus momentos vienen dados por (4) y la dispersión normalizada de (1) coincide con la presentada en (5) cuando el campo EM converge en distribución. Así, se generaron aleatoriamente 24 señales de longitud N (modelando cada una de las 3 componentes rectangulares del campo eléctrico en las 8 esquinas del volumen de trabajo de una CR mediante N muestras correspondientes a posiciones de agitador independientes) siguiendo una determinada función de distribución, $F(x)$. Tras obtener sus 24 máximos correspondientes, se calculó la media y desviación típica de éstos, comparándolas con las obtenidas mediante (4). Dado que la distribución de máximos sólo converge asintóticamente a una Gumbel (pero no se ajusta de forma exacta para un número finito de ellos), aparece un pequeño sesgo entre los resultados simulados y los predichos. Sin embargo, este sesgo se puede corregir multiplicando el parámetro de escala b_N , obtenido mediante (3), por un factor $(M - 1) / M = 23 / 24 = 0.9583\dots$ (donde $M = 24$ es el número de máximos, correspondientes a cada una de las 24 señales generadas anteriormente), y recalculando la media y desviación típica mediante (4). A continuación, se evaluó la uniformidad de campo mediante el cálculo de la dispersión normalizada S (dB) de acuerdo con los estándares del IEC [3, 6] mediante (1). El proceso se repitió 1000 veces, obteniendo diferentes valores de S (dB) para cada número N de posiciones de agitador independientes especificado. Además, se calcularon también los valores medios y extremos (mínimos y máximos) de S (dB), para cada N . Estos resultados se compararon con los predichos por (5), $\tilde{S} (dB)$. Dado que aparece un pequeño sesgo por la misma razón que la explicada para los momentos, se multiplicó b_N , obtenido mediante (3), por el mismo factor de corrección, $23 / 24$, y se recalculó $\tilde{S} (dB)$. Aunque el estudio se realizó para diversas distribuciones (Rayleigh, Rice, Weibull, Nakagami), por brevedad, en la Fig. 2 se muestran sólo los resultados para una distribución de campo EM Rayleigh. Como puede

observarse, tras 1000 ejecuciones, el valor medio de $S(dB)$, calculada, converge asintóticamente a $\tilde{S}(dB)$, predicha por (5), donde el valor de b_N es el calculado mediante (3), esto es, sesgado. Además, tras multiplicar dicho valor de b_N por el factor de corrección 23 / 24 y recalculer $\tilde{S}(dB)$ con este nuevo valor de b_N , insesgado, el valor medio de $S(dB)$ se ajusta a $\tilde{S}(dB)$. Resultados similares se obtienen para otras distribuciones $F(x)$ de campo EM, tales como Rice con factor $K \neq 0$, Weibull o Nakagami, por lo que no se presentan aquí por brevedad. Cabe destacar que la desviación absoluta entre ambos extremos de $S(dB)$ tras las 1000 ejecuciones (realizadas con una perfecta convergencia en distribución) resultó ser superior a 1 dB para el caso de modelar cada componente rectangular del campo EM mediante $N=100$ muestras independientes siguiendo una distribución Rayleigh, lo que deberá ser tomado en consideración cuando se realice una calibración de una CR de acuerdo con los estándares del IEC [3, 6] para considerar si el campo EM en la CR es uniforme o no, especialmente cuando el valor de $S(dB)$ resulte muy cercano al límite de 3 dB (a frecuencias superiores a 400 MHz, como se mencionó en la introducción).

4. Conclusiones

En este artículo se han presentado las leyes estadísticas que describen la distribución de máximos de campo electromagnético (EM) como una distribución Gumbel, con parámetros dados por la ecuación (3), permitiendo calcular los momentos media y desviación típica de los máximos así distribuidos mediante la ecuación (4). Basado en ello, se presenta en la ecuación (5) una expresión novedosa que relaciona la dispersión normalizada $S(dB)$ de la ecuación (1) con el número N de muestras independientes medidas mediante N^* posiciones de agitador al calibrar una cámara de reverberación (CR) según los estándares del IEC [3, 6] para el caso especial de tener convergencia en distribución. El estudio ha sido validado mediante simulaciones siguiendo el método de Montecarlo. Asimismo, como se observa en la Fig. 2, la uniformidad de

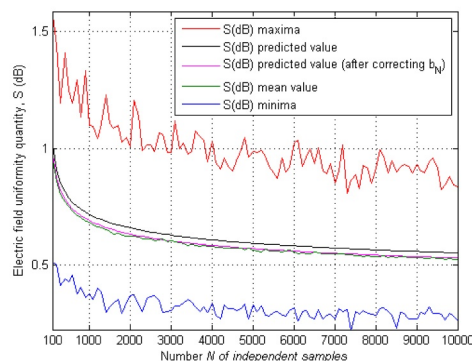


Fig. 2. $S(dB)$ máximo (rojo), medio (verde) y mínimo (azul), tras 1000 ejecuciones, y su comparación con $\tilde{S}(dB)$, predicha por (5), tanto para b_N sesgado (negro) como insesgado (magenta), para una distribución de campo EM Rayleigh (distribución Rice con factor $K = 0$).

campo medida puede variar más de 1 dB entre dos calibraciones realizadas incluso cuando hay convergencia en distribución. Así, dado que repetir el proceso de calibración suficientes veces para calcular una estimación del valor medio de la dispersión normalizada $S(dB)$ no suele ser posible debido a restricciones de tiempo, es esencial conocer un límite inferior para el número N^* de posiciones de agitador a seleccionar para obtener un valor específico de $S(dB)$. Este límite inferior puede ser fácilmente obtenido mediante la ecuación (5). Por tanto, esta contribución es de especial interés para medidas inalámbricas en CR, dado que podría ayudar a reducir tiempo y costes de su calibración.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por la Fundación Séneca, Agencia Regional de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

Referencias

- [1] D.A. Hill (1998) Electromagnetic Theory of Reverberation Chambers. National Institute of Standards and Technology (US) Technical Note 1506.
- [2] L. R. Arnaut and P. D. West (2006) Electromagnetic reverberation near a perfectly conducting boundary. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 48, no. 2, 359–371.
- [3] Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-21: Testing and measurement techniques - Reverberation chamber test methods (IEC 61000-4-21:2003).
- [4] G. Orjubin, E. Richalot, S. Mengué, O. Picon (2006) Statistical model of an undermoded reverberation chamber. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.48, no.1, 248–251.
- [5] C. Lemoine, P. Besnier, and M. Drissi (2008) Estimating the Effective Sample Size to Select Independent Measurements in a Reverberation Chamber. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 50, no. 2, 227–236.
- [6] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (IEC 61000-4-3:2006).
- [7] G. Song; Y. Li (2006) Asymptotic throughput analysis for channel-aware scheduling. IEEE Transactions on Communications, vol.54, no.10, 1827–1834.
- [8] E. J. Gumbel (1954) Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications. A Series of Lectures, National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series, 33. Washington: U. S. Government Printing Office, pp. viii–51.