

Campo Eléctrico Submarino

Antonio Sánchez & Fco. Javier Rodrigo

Área Técnica de Estudios Avanzados y Tratamiento Digital de la Señal
Sociedad Anónima de Electrónica Submarina (SAES)

Carretera de la Algameca, s/n

30205 Cartagena (España)

Teléfono: 968508214 Fax: 968507713

a.sanchez@electronica-submarina.com f.rodrido@electronica-submarina.com

***Resumen.** En el presente artículo se presenta el estudio del campo eléctrico submarino que generan los buques de superficie y submarinos. La importancia de esta influencia reside en su utilización en tareas de detección y clasificación, por lo que es necesario realizar una minimización de su valor. Para realizar dicha minimización es necesario identificar tanto las fuentes de campo eléctrico como el valor de este a una distancia determinada del objetivo. Este estudio sólo se puede realizar bien con modelos a escala, bien con software de análisis numérico. En este artículo se presenta un ejemplo de modelización utilizando el método de análisis numérico de los elementos de contorno .*

1 Introducción

Durante mucho tiempo los sistemas de detección submarina se han basado en las influencias acústica y magnética estática para detectar y clasificar buques de superficie y submarinos. Debido a la minimización de estas influencias en las plataformas citadas se han tenido que estudiar y utilizar nuevas influencias para aumentar la capacidad de detección. Así, en la actualidad la incorporación de sofisticados sensores en los sistemas de detección permiten monitorizar las influencias acústica, hidrodinámica (presión), magnética (estática y alterna) y eléctrica (estática y alterna) generadas por un buque de superficie o submarino.

La utilización de la influencia eléctrica para tareas de detección y clasificación es una técnica novedosa que amplía las capacidades de los sistemas submarinos. Esta influencia es medida por un sensor o array de sensores de campo eléctrico al paso de un buque o submarino en la zona de detección.

2 Fuentes de la firma eléctrica

La firma eléctrica de un buque está formada por una componente estática y una alterna. La componente estática se denomina UEP (Underwater Electric Potential) y representa la influencia en campo cercano. Es medida al paso del buque sobre un sensor o array de sensores de campo eléctrico, por lo que su variación temporal dependerá de la velocidad y tamaño del buque. La firma eléctrica alterna se denomina ELFE (Extremely Low Frequency Electric) y tiene un ancho de banda máximo de 3 kHz aproximadamente constituyendo la amenaza en campo cercano y lejano.

2.1 Firma eléctrica estática

La firma eléctrica estática de un buque es debida a las corrientes eléctricas generadas en el proceso de corrosión galvánica. Para evitar dicha corrosión se utilizan sistemas de protección catódica. La introducción de estos sistemas influye en la firma eléctrica de un buque aumentándola en la mayoría de los casos.

2.1.1 La corrosión galvánica

La corrosión es un proceso electroquímico que aparece debido a la presencia de materiales distintos inmersos en un medio conductor. Para que se active un proceso de corrosión galvánica es necesario tener una celda galvánica formada por los siguientes elementos:

1. **Ánodo:** sufre un proceso de oxidación siendo el elemento que se corroe. Pierde electrones, generando iones positivos.
2. **Cátodo:** se produce la reducción del agua, genera iones hidroxilo (OH^-) que se combinan con los iones positivos del cátodo, cerrándose el circuito eléctrico.
3. **Electrolito:** medio conductor de la corriente eléctrica. Viene caracterizado por la conductividad eléctrica que depende, entre otros factores, de la profundidad, salinidad y temperatura.
4. **Conexión eléctrica:** necesaria para cerrar el circuito eléctrico. Los electrones fluyen del ánodo al cátodo.

En Fig. 1 se muestran los elementos constituyentes de una celda galvánica.

Cada uno de los elementos no metálicos de un buque actuarán como ánodo o como cátodo. Comúnmente las hélices actúan como cátodo y el casco del buque como ánodo. La conexión se realiza a través del cable de masa eléctrica del buque y de su casco. El electrolito en este caso es el agua de mar. Debido a reacciones electroquímicas de reducción (en el cátodo) y oxidación (en el ánodo) se genera una corriente que fluye desde el material anódico al cátodo a través del electrolito. Esta corriente es la generadora del campo eléctrico, el cual depende de la conductividad del agua de mar.

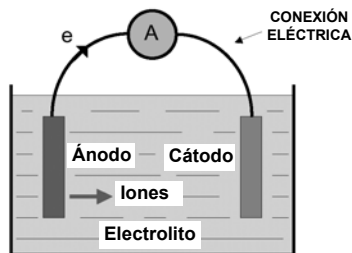


Figura 1: Celda de corrosión galvánica.

2.1.2 Sistemas de protección catódica

Para evitar la corrosión del casco y elementos metálicos que actúan como ánodos se utilizan los sistemas de protección catódica. Podemos diferenciar entre dos tipos, los pasivos y activos o ICCP (Impressed Current Cathodic Protection). Los sistemas pasivos utilizan ánodos de sacrificio, mientras que los sistemas activos utilizan ánodos de corriente impresa y electrodos de referencia. A menudo, los sistemas de protección catódica contribuyen a la firma eléctrica de una manera drástica, siendo éstos en la mayoría de los casos los generadores principales de la misma.

2.2 Firma eléctrica alterna

El campo eléctrico alterno o ELFE se debe a las siguientes fuentes:

1. Modulación de la corriente de corrosión: la corriente galvánica se modula debido al giro de las palas y hélices. El resultado es una componente frecuencial correspondiente al giro de las hélices. Si hay hélices girando a diferente velocidad el resultado es una componente frecuencial correspondiente a la frecuencia de mayor giro modulada en amplitud por la frecuencia de menor giro.
2. Rizado en la alimentación de la maquinaria de abordaje. Aparece una frecuencia correspondiente a la frecuencia de alimentación.
3. Rizado en sistemas degaussing y corriente ICCP. Modulación que sufre la corriente del ICCP debido a la variación de la resistencia entre el eje y el casco a través de los cojinetes.

Debido a que en la actualidad el rizado que presentan las fuentes de alimentación de los buques es mínimo, el campo eléctrico alterno dependerá de una manera u otra del giro de las hélices. Si el buque no tiene sistema de protección catódica activo, la principal fuente será la modulación de las corrientes galvánicas debido al giro de las hélices. En este caso la firma ELFE dependerá de la velocidad de giro de las hélices y del valor de la corriente galvánica. Si el buque tiene un sistema de protección activa, la firma ELFE será generada tanto por la modulación de la corriente galvánica como por la modulación de la corriente de salida del ánodo impuesto debido a variación de la resistencia entre el eje y el casco a través de los cojinetes. En este caso la firma ELFE dependerá de la velocidad de giro de las hélices, valor de la corriente galvánica y resistencia eléctrica en el eje de las hélices.

En Fig 2 se muestran los diferentes caminos de circulación de la corriente inyectada al agua de mar por un ánodo impuesto en un buque. El camino 1 es el que recorre la corriente desde el ánodo impuesto al electrodo de referencia para mantener el casco a un potencial dentro del intervalo de potencial de protección. El camino 2 es el que recorre la corriente que circula desde el ánodo impuesto a la hélice y retorno a través de los cojinetes del eje. El camino 3 es el que recorre la corriente del ánodo al resto del casco. La corriente que circula por 1 y 3 es constante mientras que la que circula por 3 es alterna debido a las variaciones de resistencia entre el eje y el casco.

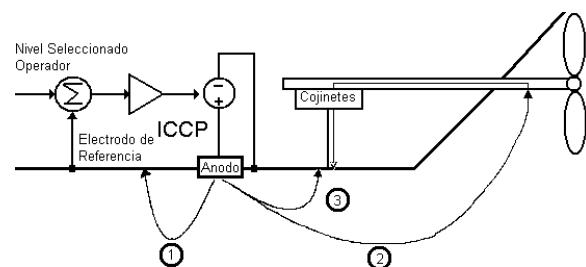


Figura 2. Corrientes alrededor de un buque con un sistema ICCP.

3 Métodos de estudio de firma eléctrica

Las herramientas de simulación por computador y el prototipado a escala se complementan en el análisis y optimización de los problemas de corrosión y firma eléctrica.

3.1 Modelos a escala

El modelo físico es la reproducción a escala reducida de las magnitudes más representativas de buques de superficie y submarinos, el cual, con las simplificaciones introducidas según las necesidades de cada caso, constituye el prototipo. También es posible incluir en estos modelos ánodos activos que transmitan corriente y sensores montados en el casco.

Los ensayos realizados con los prototipos del buque en tanques de agua sirven para predecir los potenciales en el casco a escala completa y para chequear la validez de los cálculos obtenidos por computador.

3.2 Simulación por ordenador

Los modelos con simples dipolos se aplican en el estudio de los campos electromagnéticos DC y AC. Estos algoritmos se usan generalmente para modelar buques y predecir las firmas electromagnéticas generadas.

La relación entre la densidad de corriente y el potencial eléctrico viene dada por la ecuación de Poisson:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = b$$

donde u es el potencial, (x,y,z) son las coordenadas cartesianas y el término b incluye la densidad de corriente y distribución de las distintas fuentes y sumideros internos.

Para resolver la ecuación de Poisson se utilizan métodos numéricos, siendo los más utilizados el Método de los Elementos Finitos (FEM, *Finite Element Method*) y el Método de los Elementos de Contorno (BEM, *Boundary Element Method*) que modelan geoméricamente estructuras complejas.

El FEM requiere la discretización del agua de mar con una malla que divide el volumen en pequeños elementos de tamaño finito y resuelve las ecuaciones sobre el volumen de cada elemento. El BEM requiere sólo modelar la interfase estructura-electrolito con elementos creados en la frontera (o superficies) y calcula las soluciones en el contorno de los elementos activos y puntos internos seleccionados del electrolito.

El modelo BEM generalmente incluye la representación geométrica de la zona sumergida del buque, de los elementos activos y de la zona de mar de interés, así como las propiedades eléctricas del sistema incluyendo la conductividad eléctrica del agua de mar y del fondo, la corriente de los ánodos impresos en caso de la presencia de un sistema ICCP.

A partir del modelo se calculan los potenciales de corrosión y las distribuciones de corriente eléctrica sobre la superficie del buque así como la firma eléctrica estática en campo cercano y lejano.

4 Ejemplo de simulación

El modelo en la Fig. 3 corresponde a un buque ficticio de 90m de eslora que dispone de un sistema

de protección catódica pasivo compuesto por seis ánodos de sacrificio.

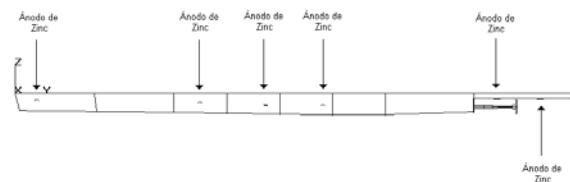


Figura 3: Modelo del buque y elementos activos.

En la Fig. 4 se observa el potencial distribuido a lo largo del buque. El casco de acero se encuentra protegido excepto en la parte de popa.

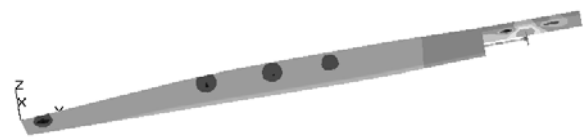


Figura 4: Potencial eléctrico (mV) en el casco.

La firma eléctrica estática del buque simulada a 20 metros de profundidad bajo quilla se muestra en la Fig.5.

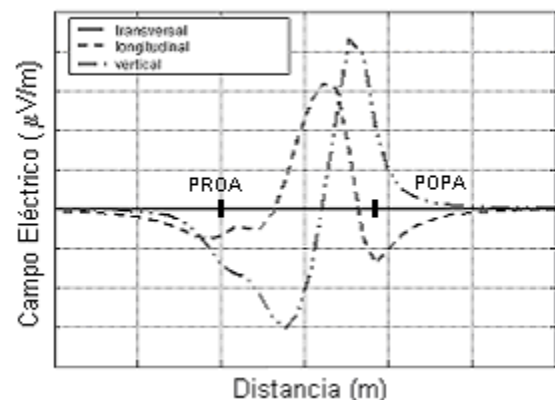


Figura 5: Firma eléctrica estática medida a 20 m de profundidad bajo quilla.

Referencias

- [1] D. J. De Renzo. "Corrosion Resistant Materials Handbook". Noyes Data Corporation. 1985. ISBN: 0-8155-1023-3.
- [2] Pierre R. Roberge. "Handbook of Corrosion Engineering". McGraw-Hill. 1999. ISBN: 0-07-076516-2.
- [3] Enrique Otero Huerta. "Corrosión y Degradación de Materiales". Editorial Síntesis S.A. 1997. ISBN: 8477385181.