## Estudio de bobinas de inducción de una capa bobinadas al aire.-

## General

Se han escrito muchos artículos sobre cálculo y diseño de bobinas, incluido yo mismo, escribí un artículo en esta revista, publicado en abril de 2016 sobre este tema. En el artículo presente, repito algunos conceptos e incido en otros tratados ligeramente en el anterior, como por ejemplo, el factor de proximidad y otra forma de contemplar el cálculo del número de espiras necesario para una inductancia dada. Cuando cito a la bobina bajo estudio, me refiero a ella indistintamente como solenoide o bobina teniendo en cuenta que ambas acepciones se refieren a un arrollamiento al aire, de una sola capa.

Creo que este trabajo, complementa en algunos aspectos al anterior, por lo que espero que despierte el mismo interés.

## Bobinas o solenoides

Sabemos que una bobina de inducción, consiste en un hilo conductor enrollado, formando un muelle helicoidal, como en la figura 1

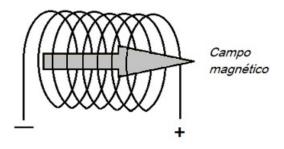


Fig. 1

En ella se crea un campo magnético, al aplicarle un voltaje en sus extremos. Si el voltaje aplicado es de corriente continua, el campo creado será constante. Si el voltaje aludido es de corriente alterna, el campo será oscilante, cambiando de sentido al ritmo de la frecuencia de dicho voltaje.

Una bobina (fig. 2) se caracteriza por los siguientes parámetros:

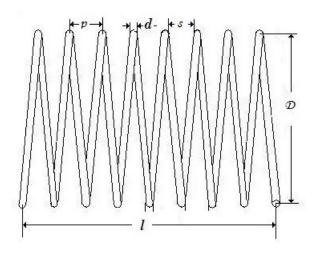


Fig. 2

s.- separación entre espiras

p.- paso del bobinado (pitch) [p = s + d]

D.- diámetro de la forma

d.- diámetro del conductor

l. – longitud del arrollamiento

Ψ.—ángulo paso de hélice

$$\psi = atan \frac{p}{\pi D_{efect}}$$

Estos parámetros que caracterizan al solenoide, dan lugar a otro parámetro, principal, que es la autoinducción o inductancia "L", de la bobina, que es el que define su comportamiento como componente de un circuito eléctrico. Se mide en Henrios aunque normalmente se usa un submúltiplo (µH)

La inducción de un solenoide viene afectada, en primera instancia, por la relación I/D y su formulación es principalmente empírica.

En el caso teórico de una bobina formada por una cinta muy delgada en la que las espiras están separadas una distancia infinitesima ("s" tiende a cero), la inductancia viene dada por:

$$L(\mu H) = 0'395 \frac{\alpha^2 N^2}{l}$$

Siendo "a" el radio de la forma o soporte y "l" la longitud de la bobina. Los dos elementos en cm.

Una fórmula ampliamente utilizada es la de Wheeler:

$$L(\mu H) = 0'394 \frac{a^2 N^2}{(9a + 10l)}$$

Esta fórmula da errores menores que el 1% para bobinas largas, hasta longitudes 1/3 del diámetro.

"a" y "l" en cm.

Así es fácil determinar la inducción de un solenoide, del que ya disponemos, midiendo su diámetro, su longitud y el número de espiras.

El método inverso consiste en diseñar y construir un solenoide a partir de unas condiciones predeterminadas, como pueden ser:

El diámetro de la forma del arrollamiento, "D"

La separación de las espiras, "s"

El diámetro del hilo conductor, "d"

La inductancia precisa, "L"

Necesitamos determinar el número de espiras necesario para alcanzar el valor de "L"

En primer lugar, hallaremos el paso "p" del bobinado (pitch)habiendo determinado previamente la separación de las espiras "s"

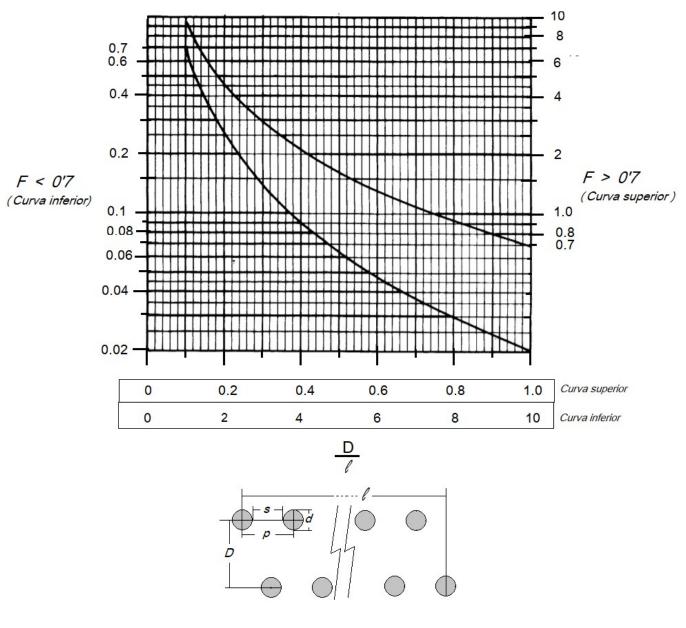
$$p = d + s$$

Ahora, determinaremos un parámetro fundamental para conseguir la máxima calidad de esta bobina, que es el Factor de Forma, que relaciona la inductancia, el paso del bobinado y el diámetro de la bobina

Dicho Factor de Forma se halla mediante la fórmula,

$$F = 50'632 \frac{Lp^2}{D^2}$$

Una vez conocido F, nos apoyaremos en la siguiente gráfica del Dpto de Comercio de Estados Unidos:



Grafica 1

p- paso del bobinado (pitch) [p = s + d]

D.- diámetro de la forma

d.- diámetro del conductor

l. – longitud del arrollamiento

s.- separación entre espiras

Procedimiento.-

1º.- Se halla el valor de E mediante la fórmula:

Si F es menor de 0'7, utilizaremos el eje vertical de la izquierda de la gráfica y determinaremos la relación D/I en la fila inferior de la leyenda del eje horizontal apoyándonos en la curva inferior.

Si F es mayor de 0'7, utilizaremos el eje vertical de la derecha de la gráfica y determinaremos la relación D/l en la fila superior de la leyenda del eje horizontal.

Como conocemos D, de este último valor, hallaremos la longitud "l" de la bobina y por último, conocidos "l" y "p" averiguaremos el número de espiras

$$N = \frac{l}{p}$$

De esta manera, podemos construir una bobina de una inductancia requerida "L" con un conductor de un diámetro "d", enrollando "N" espiras sobre una forma de diámetro "D", y separadas una distancia "s"

A todo lo anteriormente expuesto, se deben hacer las siguientes observaciones.

El resultado de la fórmula de Wheeler es aproximado.

El campo magnético creado en el interior del arrollamiento, no es uniforme,. Sólo se puede considerar así, sólo en el tercio central del mismo . Ver Fig. 3.

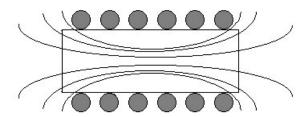


Fig. 3

La cercanía entre espiras adyacentes, crean el "efecto de proximidad" φ, cuyos valores determinados experimentalmente por Merdhust en función de las relaciones "paso/diámetro del hilo" y "longitud de la bobina /Diámetro" son expuestos en la siguiente tabla

	p/d										
I/D	1	1,111	1,25	1,429	1,667	2	2,5	3,333	5	10	1,E+31
0	5,31	3,73	2,74	2,12	1,74	1,44	1,2	1,16	1,07	1,02	1
0,2	5,45	3,84	2,83	2,2	1,77	1,48	1,29	1,19	1,08	1,02	1
0,4	5,65	3,99	2,97	2,28	1,83	1,54	1,33	1,21	1,08	1,03	1
0,6	5,8	4,11	3,1	2,38	1,89	1,6	1,38	1,22	1,1	1,03	1
0,8	5,8	4,17	3,2	2,44	1,92	1,64	1,42	1,23	1,1	1,03	1
1	5,55	4,1	3,17	2,47	1,94	1,67	1,45	1,24	1,1	1,03	1
2	4,1	3,36	2,74	2,32	1,98	1,74	1,5	1,28	1,13	1,04	1
4	3,54	3,05	2,6	2,27	2,01	1,78	1,54	1,32	1,15	1,04	1
6	3,31	2,92	2,6	2,29	2,03	1,8	1,56	1,34	1,16	1,04	1
8	3,2	2,9	2,62	2,34	2,08	1,81	1,57	1,34	1,165	1,04	1
10	3,23	2,93	2,65	2,27	2,1	1,83	1,58	1,35	1,17	1,04	1
1,E+31	3,41	3,11	2,815	2,51	2,22	1,93	1,65	1,395	1,19	1,05	1

## TABLA DE MERDHURST

Valores ( $\varphi$ ), de la relación de la resistencia a la RF de una bobina, con la resistencia del mismo hilo conductor pero recto y de la misma longitud que el hilo de la bobina.

Cualquier valor de la tabla, afecta también a otros parámetros

Cambia el valor del diámetro físico de la bobina y halla el "diámetro efectivo" (Defect)

También es afectada la longitud del hilo del arrollamiento que se convierte en lw\_efect

Determina así mismo el valor de la resistencia serie a la RF de la bobina, según la fórmula

$$R_{s-}efect = \frac{\rho \times lw\_efect}{(\pi(d \times \delta - \delta^2)) \times \phi}$$

Siendo:

 $\rho$ .- la resistividad del hilo conductor

d.- el diámetro del hilo

δ.- el factor de penetración de la corriente en el conductor por efecto piel

 $\phi$ .- valor determinado en la tabla (en función de I/D y d/p). Si no se puede determinar directamente, se debe interpolar (Triple interpolación lineal).

Dado que las espiras extremas solo tienen una espira adyacente, el número de espiras afectadas por este efecto de proximidad es de N-1.

El efecto de proximidad, que hace que Q disminuya a medida que disminuye la separación entre espiras.

Por último, este factor, también afecta a la inductancia calculada por las fórmulas convirtiéndola en una L efect.

Además del efecto de proximidad, existen tres factores de corrección cuando el hilo del arrollamiento es redondo, que son:

Un factor de corrección, al no ser uniforme el campo magnético dentro de la bobina

Un factor de corrección, debido a la inductancia intrínseca del propio hilo y por último,

Un factor de corrección, debido a la inductancia mutua entre las espiras.

Como vemos, hay 4 factores de corrección que influyen y modifican el resultado de las fórmulas que determinan la inductancia de una bobina o por el contrario, el número de espiras necesarias.

Si a esto, añadimos que las fórmulas empleadas son producto de acciones experimentales, los resultados "teóricos" obtenidos, diferirán en algún grado de los necesarios para el diseño, por lo que la acción final será la de, partiendo de los datos obtenidos, finalizar el diseño experimentalmente.

Armando García Domínguez

EA5ND

Bibliografía.-

Diseño de bobinas.-C.Perez Vega y J.M.Zamanillo.- Univ- Cantabris.- Lab Radiocomunicacion y TV

HF Resistance and Self Capacitance of single-layer Solenoides.- RG. Merdhust

Helical Round-Wire Coils Claculator.- Serge Y. Stroobandt.- ON4AA

Calculo de antenas 4º ED.- Marcombo.- Armando Garcia Dominguez.- EA5ND (Ex EA5BWL)