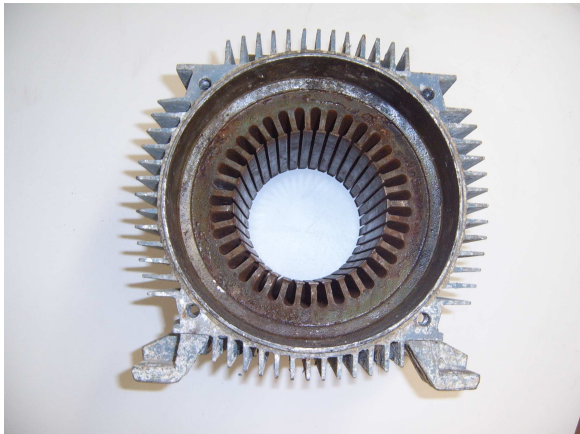


TRANSFORMACION DE UN MOTOR DE JAULA DE ARDILLA EN GENERADOR ELECTRICO.

Una breve descripción de este tipo de motores. Constan de:

1.- Un estator con bobinados realizados con hilo de un grosor máximo de 0.8 mm de diámetro, sobre núcleo de planchas magnéticas dentadas.

Según el tamaño, potencia o frecuencia de la red alterna donde se conectan, el motor puede tener diferente cantidad de “dientes” de plancha magnética. Los hay de 24 dientes y de 36, para la frecuencia de 50 Hz. (en Europa). La red eléctrica americana posee una frecuencia de 60 Hz, en cuyo caso el motor puede tener hasta 48 “dientes”..



Motor de 36 dientes



Motor de 24 dientes

El motor de 36 dientes de la foto anterior era de 10 Cv de potencia, mientras que el de 24 dientes era de 2 Cv de potencia. Es evidente que ambas fotos no están a escala, puesto que parece más pequeño el de 10 Cv que el de 2 Cv, cuando en realidad es lo contrario.

2.- Un rotor formado por varillas de plancha magnética incrustadas en Aluminio.



Rotor del motor de 2 Cv



Rotor de jaula de ardilla

La idea básica para la transformación de un motor de jaula de ardilla en generador, consiste en colocar imanes de Neodimio en el rotor y en rebobinar el estator.

Esta “transformación” depende del tamaño o potencia inicial del motor, puesto que la cantidad de imanes y el rebobinado se adapta a este tamaño. En el presente documento se explicará el caso de un motor de 2 Cv de potencia. En futuros documentos se explicará el caso de motores de mayor potencia.

Transformación de un motor de 2 Cv en generador eléctrico.

1.- Mecanizado del rotor de jaula de ardilla

Para poder colocar imanes en el rotor de cualquier motor de jaula de ardilla, es evidente que primero se debe “hacer sitio” en el rotor, dado que la diferencia de diámetros entre el rotor y el estator es de apenas 5 décimas de mm. En cuanto a los imanes mas adecuados para añadir al rotor, son los de forma curvada con la misma curvatura que el rotor. Como esto no es posible, en la mayoría de los caso, se ha optado por imanes estrechos, que al ir colocándose sobre el rotor, van adquiriendo la curvatura de éste.

En esta transformación, se han tomado imanes de 40x10x5 mm. Así pues, “el sitio” que se debe hacer en el rotor debe ser tal que el nuevo rotor, mas los imanes colocados en su superficie, no exceda del diámetro del hueco del estator. Como también hay que prevenir una “abrazadera” de los imanes para evitar que se separen del rotor cuando esté girando, se optado por rebajar el diámetro del rotor la cantidad de 2 veces el grosor del imán mas 4 mm. más para un sistema de abrazadera de los imanes. En este caso, el diámetro original del rotor, que era 75 mm., se ha rebajado a $75 - 2 \times 5 - 4 = 61$ mm. Este rebaje del diámetro del rotor debe realizarse en un torno, evidentemente

La longitud del rotor es de 120 mm.

2.- Colocación de los imanes en el rotor.

Por el tamaño del rotor rebajado, se ha decidido colocar 36 imanes. Estos imanes se distribuyen como sigue: 3 grupos de 12 imanes rodeando el rotor. Cada grupo de 12 imanes están rodeando el rotor y están separados la misma distancia. Los polos magnéticos de estos 12 imanes deben estar alternados, y los polos magnéticos de los tres imanes situados a lo largo del rotor deben ser iguales. Antes de colocarlos es conveniente dividir el rotor en sectores iguales, para asegurar la colocación equidistante de los mismos:





Como los imanes de la misma fila tienen el mismo polo magnético, tienden a repelerse, por lo que es preciso fijarlos con superglue. Los imanes que se colocan siguiendo la circunferencia del rotor tienen los polos magnéticos alternados y tienden a juntarse. También hay que fijarlos con superglue para que se queden en el lugar adecuado.

Una vez colocados todos los imanes en su sitio, hay que ponerles “una abrazadera” para que no se separen del rotor cuando esté girando. Esta abrazadera se puede hacer rodeando los imanes con hilo de cobre (que no es magnético) de 5 décimas de milímetro, y tapando todos los imanes con pegamento epoxy.

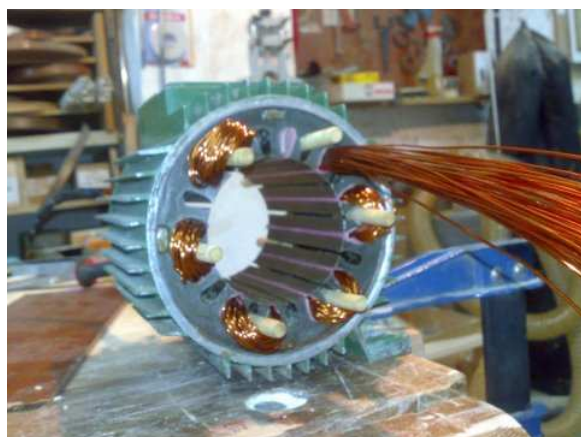
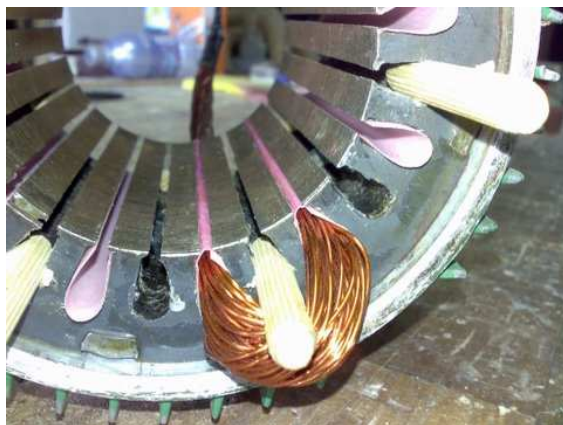


3.- Bobinado del estator

Debido a la colocación de los imanes en el rotor, el bobinado se hará del siguiente modo: Se cortaran 46 hilos de cobre esmaltado de diámetro 1 mm y una longitud aproximada de 2.3 metros. Previamente se debe colocar papel o plásticos aislantes forrando el interior de los agujeros, para evitar que el cobre pueda tocar o rozar los hierros y hagan contacto con el chasis del motor.

El manojo de hilos se debe pasar por doce agujeros, dejando uno en medio vacío para realizar otro bobinado, y sacando los dos extremos del manojo de cables fuera del motor por la caja de conexiones. Se puede ver en las siguientes fotos el proceso que se sigue para hacer este primer bobinado:

Advertir que se debe bobinar el manojo de hilos de modo que no haya contacto eléctrico entre ningún hilo y el chasis de hierro del estator

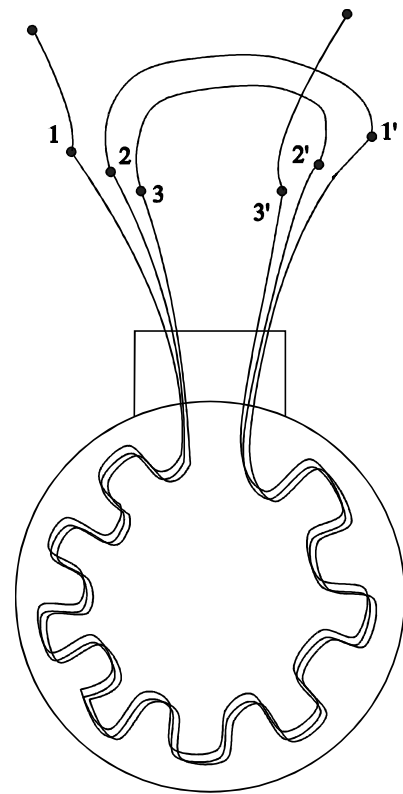
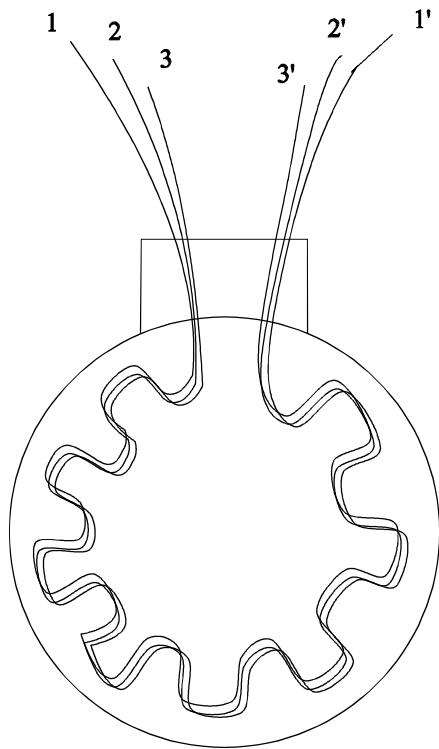


En la última foto se ve todo el manajo de hilos a punto de ser sacado fuera del motor. El manajo de hilos forma un bobinado en forma de zig-zag por doce agujeros del estator. Después de sacar todos los hilos fuera del motor, se tendrán dos grupos de 46 hilos, uno a la izquierda y otro a la derecha. A continuación se explicará como conectar entre sí todos estos hilos de cobre.

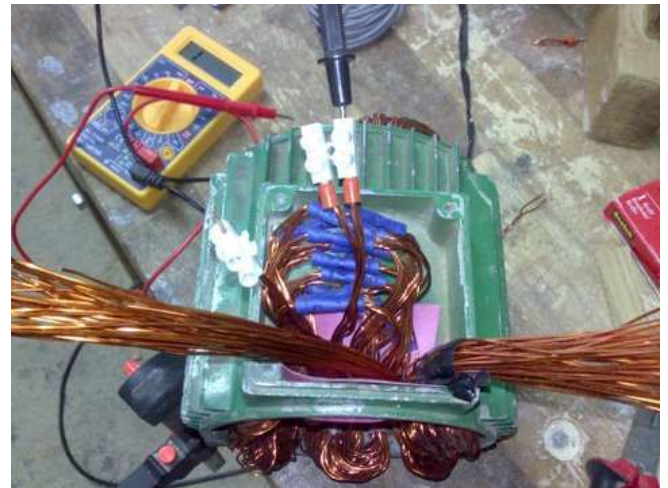
En primer lugar hay que pelar todos los extremos de los 46 hilos de cobre. Seguidamente se agruparan de tres en tres, en paralelo, uniendo dos extremos de la izquierda, y sus correspondientes dos extremos de la derecha, comprobando con el polímetro la continuidad de estos grupos de hilos. Se tendrá al final 23 cables formados de dos hilos cada uno. En los siguientes dibujos se explica como conectar entre sí estos cables:

1-1', 2-2', 3-3', ... son los extremos de cada uno de los 23 cables. Como hay que unir en serie los 46 cables, se unirá el extremo 1' (extremo de la derecha del primer cable), con el extremo 2 (extremo de la izquierda del segundo cable); el extremo 2' (extremo de la derecha del segundo cable) con el extremo 3 (extremo de la izquierda del tercer cable); el extremo 3' (extremo de la derecha del tercer cable) con el extremo 4 (extremo de la izquierda del cuarto cable); así hasta unir el extremo 23', con el extremo 23, quedando finalmente libres solo los extremos 1 y 23'. Estos extremos son los extremos de la primera bobina.

En los siguientes dibujos se explica la conexión ente si de los cables, aunque solo se han dibujado 3 cables por sencillez de los dibujos)



En las fotos siguientes se ven las conexiones entre los cables de la primera bobina, y los extremos aun por agrupar de la segunda bobina



Se puede predecir aproximadamente el comportamiento de este motor-generador aplicando una expresión matemática obtenida a partir de la expresión de Lorentz:

$$\varepsilon = 0.7 \omega r B N L \quad (1)$$

ε = fuerza electromotriz eficaz inducida en una bobina

ω = velocidad angular del rotor en radianes por segundo. Si se quiere expresar esta velocidad en revoluciones por minuto, la expresión será

$$\omega = 2\pi \frac{rpm}{60} = 0.1047 \cdot Rpm \quad (2)$$

r = radio de la circunferencia formada por los imanes

B = campo magnético que actúa sobre los hilos de cobre

N = numero total de hilos de cobre bobinados en el estator

L = longitud del estator, por el numero de veces que un hilo de cobre recorre todo el motor.

La única magnitud que se desconoce a priori es el campo magnético que actúa sobre los hilos del estator. El valor del campo magnético depende del tamaño y colocación de los imanes empleados. Para imanes de Neodimio de 40 x 10 x 5 mm. El campo magnético “efectivo” que actúa sobre los hilos de cobre es del orden de 9000 gauss., y se presupone que todo el rotor esta lleno de imanes. En caso de que la geometría del rotor no permita colocar los imanes unos junto a otros, como es el caso del presente motor, cabe añadir un factor correctivo a la fórmula (1) que tenga en cuenta la disminución de la superficie del rotor ocupada por los imanes. Dicho factor es f_c = superficie de los imanes / superficie total del rotor. La expresión final de la fuerza electromotriz inducida en un generador de flujo radial es:

$$\varepsilon = 0.074 f_c (Rpm) r B N L \quad (3)$$

Si se aplica la expresión (3) al caso del motor de 2 Cv, los valores de las diferentes magnitudes que intervienen en ella tienen los siguientes valores numéricos:

- $f_c = 0.54$ (la superficie del rotor ocupada por los imanes es algo mayor de la mitad de la superficie del rotor)
- Rpm = 400 vueltas por minuto
- r = 35 mm. = 0.035 metros
- B = 0.9 Teslas
- L = 1.44 metros (doce agujeros por 12 cm. de longitud de cada agujero)
- N = 23 cables.

El valor de la tensión es de 16.6 voltios. Para saber la intensidad de corriente que suministrara a una batería de 12 voltios, se aplicara la ley de Ohm:

$$I = \frac{\varepsilon_g - \varepsilon_b}{R_g} \quad (4)$$

I = intensidad de corriente suministrada por el generador

ε_g = tensión del generador; ε_b = tensión de la batería

R_g = resistencia del generador.

Hay que tener en cuenta que si la resistencia de la bobina del generador es elevada, se consume potencia eléctrica en ella, según la ley de Joule, lo que disminuye el rendimiento energético del generador.

$$\text{Potencia perdida en el generador} = I^2 R_g \quad (5)$$

$$\text{Potencia almacenada en la batería} = I \mathcal{E}_b \quad (6)$$

La resistencia de uno de los hilos de cobre de la bobina es de 0.05 ohmios aproximadamente. Como hemos agrupado los hilos de dos en dos, en paralelo, y se tienen 23 cables conectados en serie, la resistencia total del bobinado resulta ser:

$$0.05/2 \times 23 = 0.57 \text{ ohmios.}$$

Aplicando la ley de Ohm (4), y teniendo en cuenta que un puente de diodos absorbe un voltio aproximadamente (medio voltio por cada diodo del puente), la intensidad de corriente será:

$$I = (15.6 - 12) / 0.57 = 6.5 \text{ amperios.}$$

El segundo bobinado del generador debe ser idéntico en características eléctricas al primero, que acabamos de estudiar. Este segundo bobinado se conectará a otro puente de diodos para luego conectarlo en paralelo con el primer bobinado, con lo cual la intensidad de corriente total que suministrará el generador a la batería de 12 voltios será el doble del obtenido antes, siempre que se mantengan las 400 rpms de giro del generador. Así pues

$$I = 13 \text{ amperios.}$$

A continuación estudiaremos el rendimiento energético del generador aplicando las formulas (5) y (6). La potencia absorbida en cada bobinado es

$$P_{\text{bobinado}} = 6.5^2 \times 0.57 = 24 \text{ watios.}$$

La potencia que cada bobinado almacena en la batería es

$$P_{\text{batería}} = 6.5 \times 12 = 78 \text{ watios.}$$

La potencia total absorbida por el generador en sus dos bobinados será $P_{\text{generador}} = 2 \times 24 = 48$ watios, y la potencia total almacenada en la batería será $P_{\text{batería}} = 2 \times 78 = 156$ watios.

Aunque estos valores no son totalmente correctos, porque no se han tenido en cuenta las pérdidas de potencia en los cables de unión entre el generador y la batería, la potencia disipada en los propios puentes de diodos ni la consumida en la resistencia interna de la batería, nos dan una idea muy aproximada del funcionamiento del motor-generador.

El rendimiento energético del generador es $\eta = 156 / (156 + 48) \times 100 = 76\%$

En este último dibujo se aprecia la situación relativa de imanes y dientes de hierro. Cada dos dientes de hierro hay un imán enfrentado, pero la anchura del diente es menor que la del imán, por lo que el giro de este generador es bastante suave sin apenas “cogging”. En rojo se ha dibujado el imán con el polo hacia el diente de hierro, y en negro el imán con el polo Sur hacia el diente de hierro.

