

Renewable Oceanic Energy: Tidal Energy using a Permanent Magnet Generator (PMG)

Students: Eva Buelga Llorente, Adrián Prendes Salas.

Adviser: Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez

Work reference: WRE-2013-01

WRE - Workroom on Renewable Energy

Gijón Polytechnic Campus of Engineering (EPI Gijón)

Abstract

The project's goal is to look for a bus power supply of 400V DC. We will try to use the energy of the tides which, with the appropriate treatment will allow us to reach that goal.

To achieve this, we use a turbine that will rotate depending on the speed of the water and, through a permanent magnet generator (PMG), we will harvest an AC voltage. Then, we will rectify it to generate a DC voltage and, using a Boost converter, we could reach the required 400V, which will go directly to our DC bus.

Resumen

Nuestro proyecto consistirá en abastecer de energía un bus de continua de 400V. Para ello usaremos la energía mareomotriz, es decir, utilizaremos la energía de las mareas que, con el tratamiento adecuado, nos permitirá alcanzar el objetivo.

Para lo, usaremos una turbina que girará en función de la velocidad del agua, la cual, a través de un generador de imanes permanentes, generará una tensión en alterna. Posteriormente la rectificaremos para convertirla a corriente continua, y emplearemos un convertidor elevador (Boost converter) para alcanzar los 400 V requeridos, que irá directo a nuestro bus de continua.

Key words: renewable energy, tidal energy, energy sources.

1. PROYECTO

Tal y como está el mundo, creemos que es muy importante aprovechar cualquier mínima fuente de energía renovable que nos podamos encontrar.

En este caso, hemos decidido hacer un estudio sobre la energía que se podría aprovechar con las mareas, ya que podemos obtener un beneficio económico sin falta de ningún combustible ni perjudicando a la naturaleza.

Es una fuente fiable y previsible, y en este documento desarrollaremos el proceso para este ahorro de energía.

Es algo poco usual hoy en día, y es posible que mucha gente no se imagine que solo con el movimiento del agua en las mareas podamos iluminar una ciudad. Más conocido es el aprovechamiento energético por medio de molinos de viento, energía eólica, o paneles solares, energía solar.

Pero tanto el viento como el sol, es algo impredecible, así que, nos hemos decidido por algo poco conocido, y previsible. El estudio de la energía mareomotriz.

2. DESARROLLO

Nuestro trabajo lo dividiremos en tres partes: información básica, generador de imanes permanentes, circuitos y componentes.

2.1 INFORMACIÓN BÁSICA

2.1.1 ¿SE PODRÍA GENERAR ENERGÍA A PARTIR DE LOS MOVIMIENTOS DE LAS MAREAS?

En los últimos años, se ha puesto como objetivo fundamental en este campo la búsqueda de fuentes de energía renovables.

Una buena solución es lo que conocemos como energía mareomotriz, fuente de energía renovable cuyo uso no es muy conocido, en el cual la obtención de energía está relacionada con las fuerzas de atracción gravitatoria entre la Luna, la Tierra y el Sol.



Figura 1. Turbina mareomotriz

Es un tipo de energía obtenida de los cambios del nivel del mar, que produce electricidad a partir del proceso que vamos a tratar.

La principal ventaja de la energía de las mareas es su beneficio económico, ya que no requiere ningún combustible y las mareas suben y bajan todos los días en un patrón muy consistente.

Por este motivo, la energía mareomotriz tiene el potencial de proporcionar una fuente muy fiable de energía renovable ya que es previsible y está garantizada, a diferencia de la energía eólica, por ejemplo, que depende del clima.

Las turbinas, similares a las turbinas de viento, pueden ser ancladas al fondo del mar para generar electricidad a partir de las corrientes.

El lugar ideal para instalar un central mareomotriz es un estuario, una bahía o una ría donde el agua de mar penetre.

En este caso nos hemos basado en un estudio con los datos obtenidos en la ría de Avilés.

Para hacernos una idea, el funcionamiento básico para producir energía eléctrica consiste en hacer pasar el agua por unas turbinas instaladas en el fondo del mar.

Se acciona la hélice de la turbina y ésta, al girar, mueve un generador de imanes, como el de la imagen, que produce electricidad.

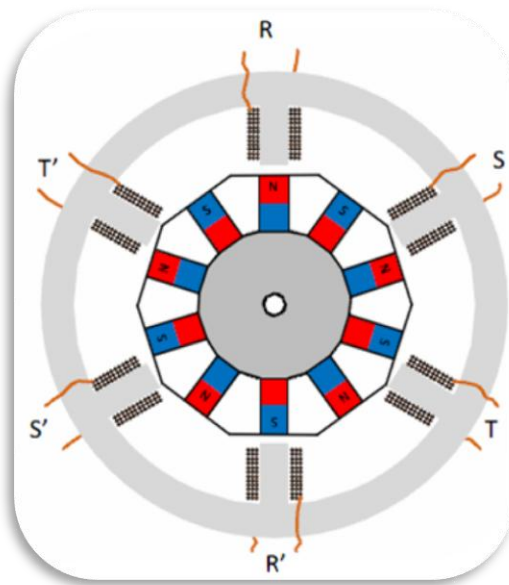


FIGURA 2. Generador de imanes permanentes.

Con el proceso electrónico adecuado se obtendrá el mayor rendimiento de dichas turbinas y con ello, la máxima energía posible y el mayor beneficio.

3.1.2 PRONÓSTICO DE MAREAS

Dado el estudio realizado, nos encontramos con dos tipos de mareas, denominadas “mareas vivas” y “mareas muertas”.

Las mareas vivas se producen cuando el Sol y la Luna están alineados entre sí, como se muestra en el diagrama.

Las mareas muertas se producen cuando el Sol y la Luna forman un ángulo recto. Su gravedad actúa como una fuerza de oposición que compiten para atraer el agua a la Tierra. Por esta razón, las mareas no cambian drásticamente entre los tiempos de marea alta y baja.

Las mareas muertas se producen en el punto medio entre las fases de luna llena y luna nueva.

3.1.3 ¡LA DENSIDAD ES IMPORTANTE!

Como veremos más adelante, para obtener el valor de la potencia generada, necesitamos el valor de la densidad, que es directamente proporcional a la misma.

La densidad del agua de mar varía desde 1020 hasta 1030 kg/m³.

Una buena estimación de su densidad es 1.025 kg/m³.

A su vez, este factor depende de la temperatura, la profundidad y la salinidad del agua.



FIGURA 3. Ciclo de mareas

El período de las mareas dura 12 horas y 25 minutos, tiempo en el que comprende una subida y una bajada.

Haciendo cálculos, tenemos que en un año habrá alrededor de 700 ciclos.

3.1.4 DOS MODOS DE GENERACIÓN

Utilizando turbinas de doble aspa, es evidente que podremos obtener energía tanto en la subida como en la bajada de las mareas, mejorando aún más el rendimiento.

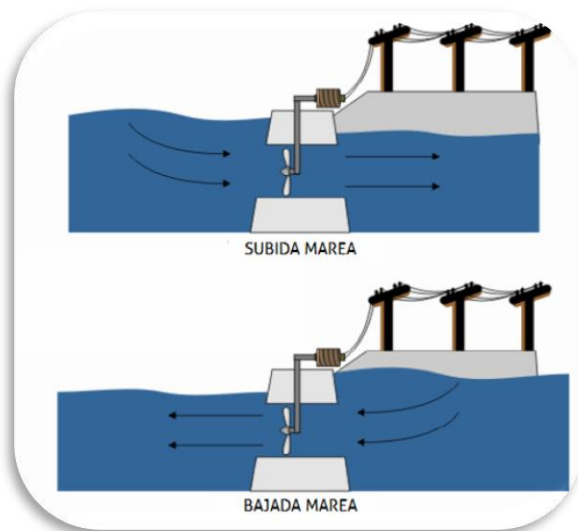


FIGURA 4. Modos de generación de las mareas.

3.2 GENERADOR DE IMANES PERMANENTES

Un generador de imanes permanentes es un generador síncrono en el que se sustituye el bobinado de excitación por un sistema formado por imanes permanentes que suministran un campo de excitación constante

A partir de la velocidad de las mareas, giran los imanes frente a las bobinas que componen los distintos polos e inducirán una fuerza electromotriz de frecuencia variable.

Con una velocidad máxima de 3m/s, tendríamos, en nuestro caso, unos 180V, y podríamos obtener una potencia de 170 w aproximadamente.

En el caso de que la velocidad sea mínima, es decir, 1.5m/s, con los mismos cálculos tendríamos 90V.



FIGURA 5. Generador de imanes

3.3 CIRCUITOS Y COMPONENTES

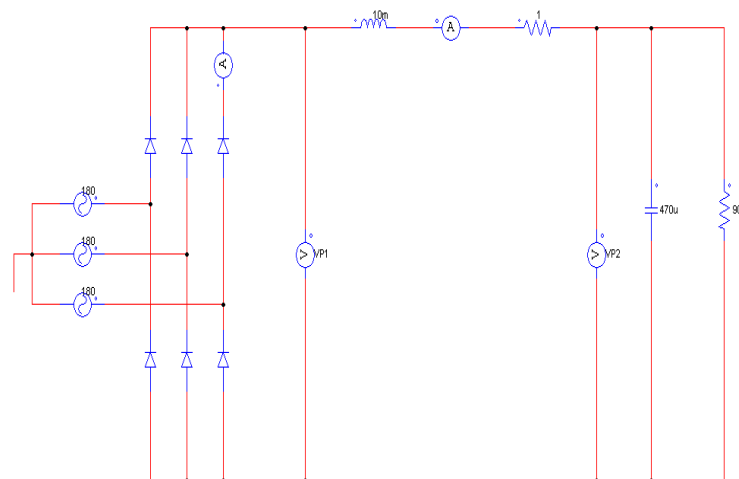
Para llevar a cabo la tarea necesitaremos:

- **Bloque rectificador.**

A la salida del generador obtenemos una corriente en alterna; con este dispositivo buscamos obtener un equivalente de la misma en continua para poder llevarla a un bus DC.

En este caso emplearemos un rectificador trifásico de doble onda, con seis diodos. Con este dispositivo se logra una mayor tensión de salida, un menor rizado en la misma y una frecuencia de hasta seis veces la de red.

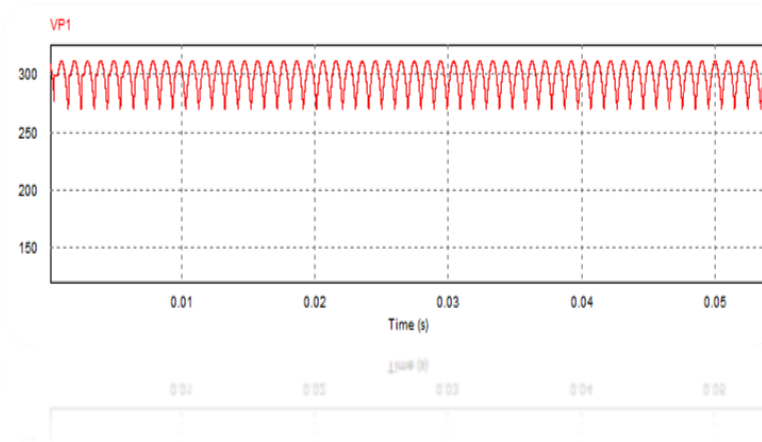
El esquema diseñado es el siguiente:



En el mismo podemos apreciar:

- Seis diodos, que harán las funciones de rectificación propiamente dichas. Estos diodos estarán expuestos, suponiendo una tensión generada máxima (180V), a tensiones de entorno a 310 V; teniendo en cuenta los posibles picos de tensión que pudieran producirse, deberíamos dejar un cierto margen y coger unos diodos de entorno a 600V. Los de la serie **1N4005** se nos antojan como buenas elecciones.

En la siguiente figura podemos apreciar la forma de onda de la tensión que deben soportar los diodos:



- Una bobina y un condensador, que harán una función de “filtrado”. La bobina nos permitirá controlar los picos de corriente que pudieran aparecer, mientras que la función del condensador será “aplanar” el rizado, consiguiendo la corriente continua deseada.

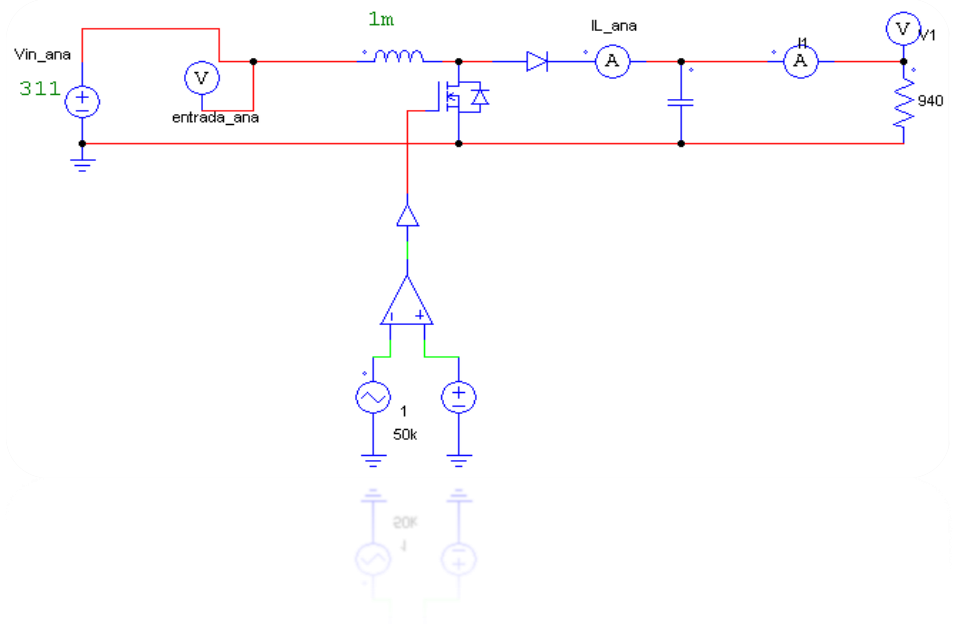
Hemos seleccionado una bobina de 10mH, con altura 50 mm, diámetro 23.7 mm y 300 espiras; y un condensador de 470 uF (ref. **Panasonic EETUQ2G471LJ**)

- Dadas las pérdidas que pudiera tener la bobina, y con el fin de disiparlas, emplearemos una pequeña resistencia de 1Ω

- **Convertidor-elevador (Boost converter)**

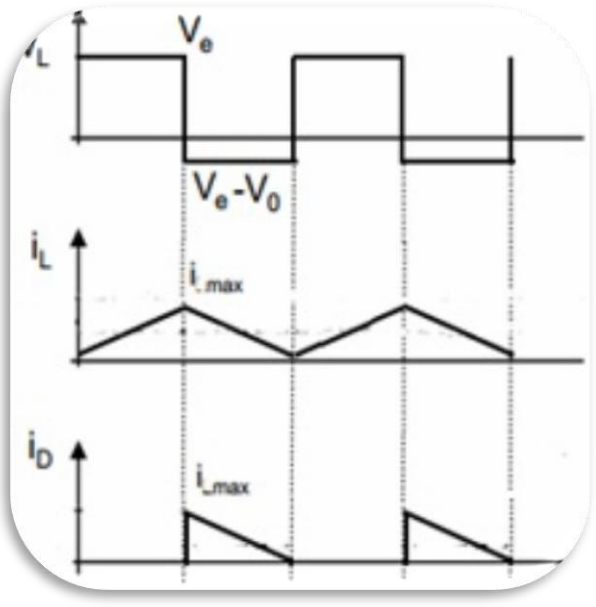
La búsqueda de una tensión de 400V para inyectar al bus nos obliga a emplear una etapa elevadora. El funcionamiento básico es simple, mientras el interruptor/transistor se encuentre cerrado, la bobina se cargará y la carga será alimentada por el condensador. En cuanto el interruptor se abra, la bobina entregará la corriente pasando por el diodo y, por consiguiente, la tensión de salida será mayor.

Planteando un caso inicial sin regulación por microprocesador obtendríamos un esquema como el siguiente:



En el circuito podemos distinguir:

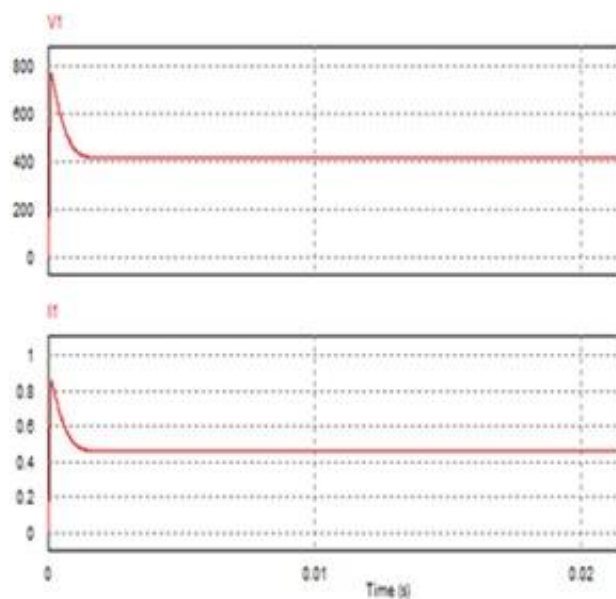
- Una bobina, que se cargará y descargará para originar el exceso de tensión. Para su cálculo nos iremos al límite entre los modos de conducción en continuo y discontinuo donde las corrientes serán del estilo:



Poniéndonos en el caso más desfavorable, en el que la tensión y la corriente de salida sean máximas, tendremos una bobina de 1mH, con 25 mm de diámetro, altura de 60 mm y 100 espiras.

- Un condensador, que nos permitirá fijar un rizado máximo a la salida. Debemos seleccionarlo lo suficientemente grande como para que nos lo mantenga, en nuestro caso hemos seleccionado uno de 22 μ F (REF. **PLUS/22.0/08**)
- Un mosfet, de canal N, que conmutará a una frecuencia de 50kHz y deberá soportar más de 400 V, elegimos uno hasta 600 V para evitar problemas en posibles picos (ref. **STB34NM60ND**)
- Un diodo; deberá de soportar una tensión superior a la de la salida del elevador, 800 V (Ref. **1N4006**).
- Un bloque que simularía el PWM requerido para alcanzar los 400 V.

Con todo esto podríamos obtener a la salida unas formas de tensión y corriente semejantes a las siguientes.



Como podemos apreciar, se produce un fuerte pico inicial, éste es debido a la falta de un control en el duty.

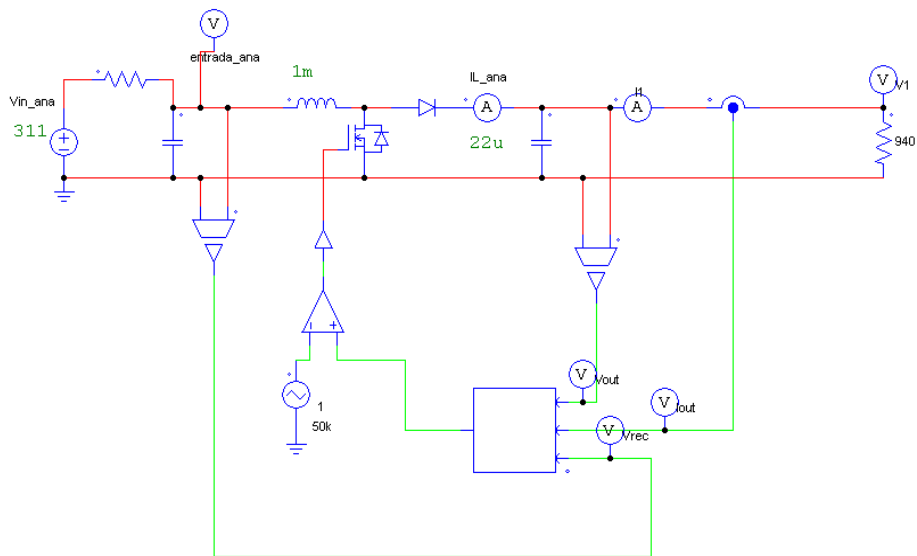
- **Regulación del sistema**

A través del esquema anterior, para llegar a los valores deseados debíamos cambiar el duty del sistema de control de manera manual, muy sencilla en simulación, pero una tarea inviable en la realidad, puesto que la velocidad de giro del rotor cambiaría continuamente.

¿Se podría conseguir un algoritmo que nos permitiese un control en directo de la frecuencia de conmutación del transistor?

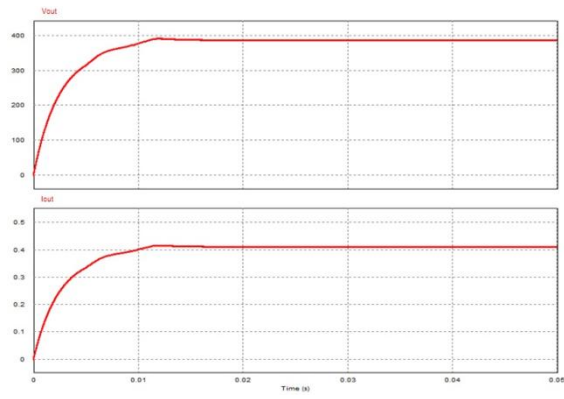
La respuesta es sí, a través de un microprocesador podríamos generar un programa que nos permitiese alcanzar el punto de máxima potencia. Un dato bastante significativo a la hora de implementarlo sería el Duty, es necesario saber la relación con las tensiones de entrada y de salida:

$$D = \frac{V_{bus} - V_{pmg}}{V_{bus}}$$



En la figura podemos ver como quedaría el esquema de la simulación, en el C-block implementaríamos una función en la que, si la potencia es mayor que la dada un instante anterior, aumentaríamos el duty, y en caso contrario, si la potencia fuese menor que la dada un instante anterior, lo reduciríamos.

Al final obtendríamos unas formas de onda a la salida como las siguientes:



Se puede comprobar también que hemos eliminado el pico de arranque, puesto que se ha añadido al programa unas líneas de código iniciales que obliguen al duty a aumentar poco a poco durante los instantes iniciales.