

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) OF A PMG BASED SMALL WIND TURBINE.

Del Arco Rodríguez, Héctor; García Álvarez, Alejandro (<http://orcid.org/0000-0001-5647-043X>)

Abstract— In this project we are looking for a bus power supply of 400V DC. We will use wind power, therefore, we take advantage of the wind. And this is achieved using three-bladed turbine, which the wind will spin and get some revolutions per minute, which will be collected by the permanent magnet generator lead to tension. This will rectify AC voltage to the continuous, to then increase to 400V using a boost converter. And finally introduce in our DC bus.

Index Terms— PMG (Permanent Magnet Generator), PSIM (Power Simulator), datasheet (sheet of component's characteristics)

(*) All authors are students from University of Oviedo. Industrial Electronics and Automatics. Campus de Viesques GIJON – ASTURIAS – SPAIN. **E-mail of authors:** Del Arco-Rodríguez H. (hecdar91@gmail.com) García-Álvarez Alejandro (janorondiella@gmail.com)

I. INTRODUCTION

Hoy en día, las fuentes energía no renovables están empezando a escasear y no nos damos cuenta de que no son ilimitadas, algún día terminará agotándose. Pero también cada vez más se está dejando paso a nuevas fuentes y formas de producir energía limpia y sostenible. Y estoy hablando de las energías renovables, también llamadas energías verdes, de entre las cuales nos vamos a centrar en la energía eólica.

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas de energía útiles para la actividad humana. En nuestro caso usaremos esas corrientes de aire para obtener electricidad.

Lo que buscamos es crear un microgenerador eólico capaz de abastecernos de baja potencia el día a día para así reducir el coste económico que supone el consumo de energía de una casa o piso, que en tiempos de crisis no viene mal.



II. DESARROLLO DEL PROYECTO.

En nuestro sistema podemos diferenciar cinco partes: turbina, generador, rectificador, elevador, y regulación.

II.1 Turbina de tres aspas

Nuestro sistema comienza con una turbina de tres aspas, que estará en contacto con el viento y al girar tendremos un número de revoluciones por minuto en función de la velocidad existente en el momento del viento.



Fig. 1. Turbina de tres aspas.

Estas relaciones vienen dadas por unas ecuaciones y fórmulas en las que no vamos a centrarnos mucho ya que es la electrónica del sistema la parte que más nos interesa.

II.2 Generador de imanes permanentes

Con el generador de imanes permanentes obtendremos una tensión en alterna trifásica a partir de las revoluciones por minuto generadas por la turbina.

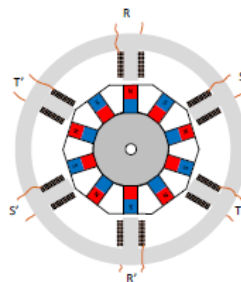


Fig. 2. Generador de imanes permanentes.

No atenderemos a todas las relaciones que podemos encontrar, pero en las dos siguientes tablas haremos un pequeño resumen de la relación entre las diferentes variables.

Tabla I
Datos obtenidos de la turbina y del generador

v [km/h]	N [rpm]	P_{real} [W]
15	560	14,7
25	940	68
35	1300	186,8
45	1670	397,2
55	2050	725
65	2400	1197

Tabla II
Datos de variables del generador

v[km/h]	f _{PMG} [Hz]	V _{PMG} [V]	I _{PMG} [A]
15	46,8	50,6	0,284
55	170	183,8	3,864

II.3 Rectificador trifásico

Tras el generador de imanes permanentes, tenemos en nuestro sistema una tensión alterna. Y para poder introducirla en el bus de continua tendremos por supuesto que convertirla nuestra tensión alterna en continua.

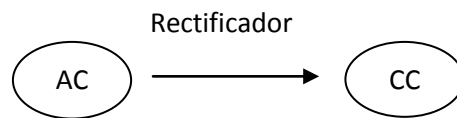


Fig. 3. Representación de la conversión AC/DC.

Para ello haremos uso de un rectificador trifásico de doble onda, ya que obtenemos una mayor tensión media de salida, un menor rizado en esta tensión, y la frecuencia es unas seis veces superior a la de red. Estará compuesto por seis diodos, una bobina L1, una resistencia R1 y un condensador C1.

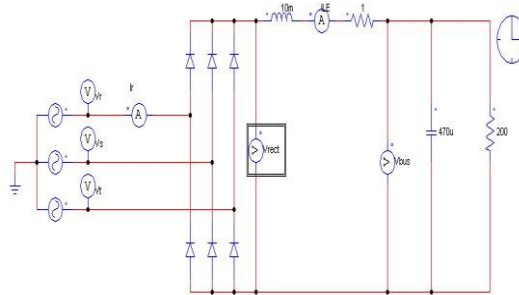


Fig. 4. Esquema del rectificador en la simulación en PSIM.

Podemos ver una resistencia de 1 Ω que simplemente colocamos en la simulación para simular las pérdidas en los componentes. Para la elección de los componentes vamos a simular con la máxima potencia, que tomaremos con un viento de 55 km/h. Para este viento el PMG nos da una tensión alterna de 184 V de pico. Todos los cálculos están hechos para esta tensión.

II.3.1 Diodos

Tendremos que estudiar varios parámetros del circuito para elegir correctamente los diodos que vamos a utilizar. Estos diodos soportan esfuerzos de tensión y corriente, y sufrirán unas pérdidas.

Los siguientes datos están simulados en PSIM:

$$I_{MAX}=11,02 \text{ A}$$

$$I_{MEDIA}=3,357 \text{ A}$$

$$I_{EFICAZ}=5,879 \text{ A}$$

$$V_{INVERSA}= 318 \text{ V}$$

Elegimos el diodo rectificador BY500-800 que tiene los parámetros siguientes:

$$I_{F(AV)} = 5 \text{ A}$$

$$I_{FSM} = 200 \text{ A}$$

$$V_{RRM} = 800 \text{ V}$$

Disipación térmica

En el datasheet del diodo vienen los datos y gráficas necesarias para estos cálculos.

$$V_{codo} = 0,5 \text{ V}$$

$$R_{eq} = \Delta V / \Delta I = 0,05 \Omega$$

Calculamos las pérdidas:

$$P_d = V_{codo} \cdot I_{media} + R_{eq} \cdot [I_{eficaz}]^2 \quad (1)$$

$$P_d = 0,5 \cdot 3,357 + 0,05 \cdot [5,879]^2$$

$$P_d = 3,4 \text{ W}$$

Ahora analizamos si necesita disipador de calor para evacuar esas pérdidas en forma de calor:

El diodo tiene una $R_{thja} = 22 \text{ }^\circ\text{C/W}$ y una $T_{jmax} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vemos cuanta potencia puede disipar con esa resistencia térmica:

$$P_d = (T_{jmax} - T_a) / R_{ja} \quad (2)$$

$$P_d = (125 - 25) / 22 = 4,54 \text{ W}$$

Puede disipar 4,45 W. Por lo que no hace falta un disipador térmico.

En la figura 5 se puede observar como gracias al rectificador tendremos siempre una tensión media de 300V aproximadamente.

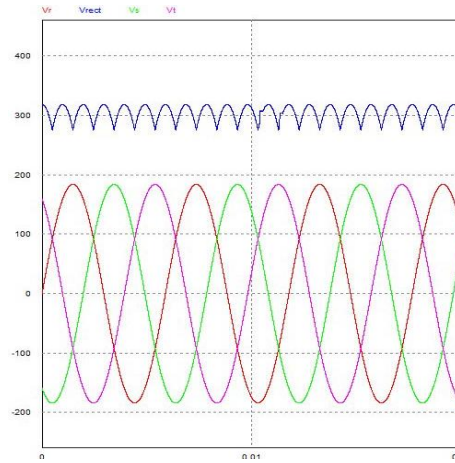


Fig. 5. Formas de onda de la tensión soportada por los diodos y la tensión rectificada (onda de arriba)

II.3.2 Bobina

La bobina L1 la usamos para reducir los picazos de corriente que se generan durante las conmutaciones a la salida del rectificador, y buscamos un valor lo suficientemente alto como para que esos picos de corriente no nos sean un problema.

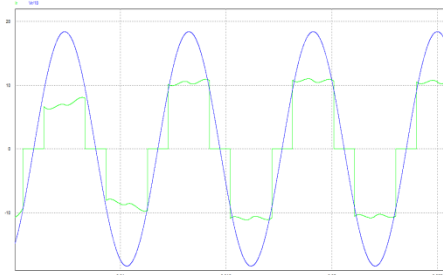


Fig. 6. Corriente y tensión que circula por la bobina

Acabamos usando una bobina de 10mH, y sus dimensiones son: diámetro=2,1cm, altura=10cm, y n° espiras=150, y $\mu=10$, ya que μ es la permeabilidad porque usamos un núcleo de ferrita.

II.3.3 Resistencias

La resistencia R1 la escogemos pequeña, de 1Ω , ya que la usamos como disipador de las pérdidas de la inductancia L1.

II.3.4 Condensador

El condensador C1 lo usamos como filtro para estabilizar la señal que obtenemos a la salida de los diodos. Y por eso escogimos un condensador de $470\mu\text{F}$, 159 Pul-SI .

Y como podremos observar en la figura 7, a la salida del rectificador tendremos 300V de media y una corriente no muy alta y sin picos importantes exceptuando el de arranque.

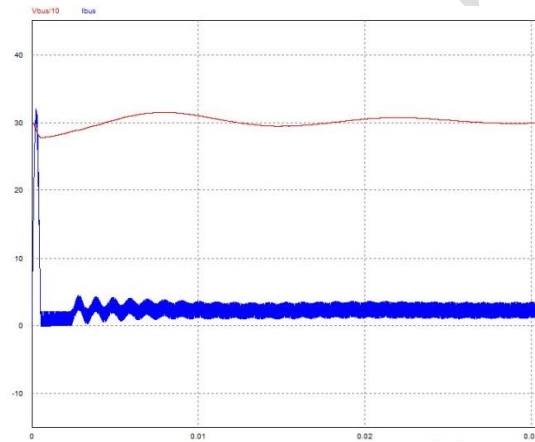


Fig. 7. Tensión (dividida entre 10) y corriente a la salida del rectificador (entrada del elevador)

II.4 Elevador

Después del rectificador, cuando ya tenemos una tensión continua, la elevamos a 400V para así introducirla en el bus de continua.

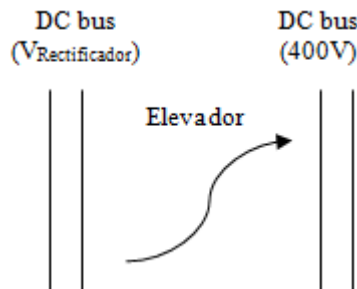


Fig. 8. Representación de la función del elevador

Para realizar esto, nuestro elevador estará formado por una bobina L2, un condensador C2, un diodo y un mosfet.

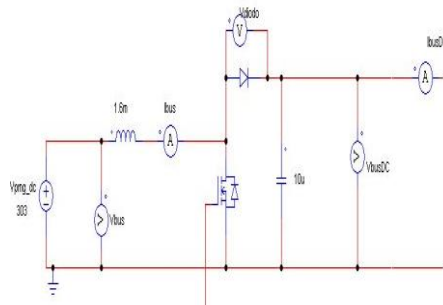


Fig. 9. Esquema del elevador en la simulación en PSIM

II.4.1 Diodo

Para la elección de este diodo simulamos en PSIM obteniendo estos datos:

$$I_{MAX} = 47,3 \text{ A}$$

$$I_{MEDIA} = 6,518 \text{ A}$$

$$I_{EFICAZ} = 8,931 \text{ A}$$

$$V_{INVERSA MAX} = 502,8 \text{ V}$$

No podemos usar el mismo que para el rectificador porque la intensidad media por este es superior.

Elegimos entonces el diodo P1000M de Semikron que cumple las especificaciones que necesitamos:

$$I_{F(AV)} = 10 \text{ A}$$

$$I_{FSM} = 400 \text{ A}$$

$$V_{RRM} = 1000 \text{ V}$$

Disipación térmica

Este diodo tiene una tensión de codo de 0,65 V y una resistencia equivalente, que la obtenemos de la gráfica I-V, de 0,036 Ω .

$$P_d = V_{codo} \cdot I_{media} + R_{eq} \cdot (I_{eficaz})^2 \quad (3)$$

$$P_d = 0,65 \cdot 6,518 + 0,036 \cdot (8,931)^2$$

$$P_d = 7,11 \text{ W}$$

Estudiaremos ahora la necesidad de disipador térmico para este diodo en estas condiciones.

Conocemos la R_{ja} del diodo, 14 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y la $T_{jmax} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

La potencia que puede disipar este diodo es:

$$P_d = (T_{jmax} - T_a) / R_{ja} \quad (4)$$

$$P_d = (175 - 25) / 14 = 10,71 \text{ W}$$

La potencia térmica que puede disipar es mayor que las pérdidas que tienen por lo tanto, no hará falta un disipador térmico.

II.4.2 Diodo

Para hallar la bobina L2 empezamos mirando el elevador cuando el mosfet está cerrado y en función del tiempo, formando el circuito que aparece en la figura 10.

La función de esta bobina es almacenar la energía (tensión) que se acumula cuando el mosfet está cerrado, y cuando se abra, liberará esta tensión a través del circuito yendo por tanto al bus de continua.

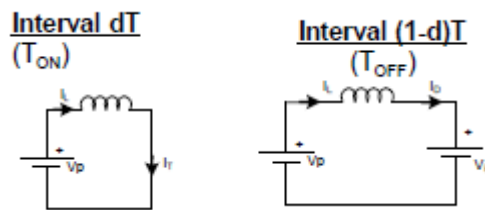


Fig. 10. Circuito del elevador cuando el mosfet está cerrado

Entre el periodo de tiempo comprendido entre 0 y dT se debe cumplir que:

$$i_L(t) = i_{(0)} + V_{\text{Rectificador}} / L \cdot t \quad (5)$$

$$i_m = i_{(0)} + V_{\text{Rectificador}} / L \cdot dT \quad (6)$$

Y entre el periodo entre dT y T se debe cumplir:

$$i_L = i_{(m)} + (V_{\text{BUS}} - V_{\text{Rectificador}}) / L \cdot t \quad (7)$$

$$i_{(0)} = i_{(m)} + [(V_{\text{BUS}} - V)_{\text{Rectificador}}] / L \cdot (1-d) \cdot dT \quad (8)$$

Con las ecuaciones (6) y (8) podemos calcular nuestro duty (d), y este resultado sería la ecuación (14). i_L es la corriente en la bobina, $i_{(m)}$ es la máxima, y $i_{(0)}$ es la del bus de continua.

Además, podemos descubrir el valor de nuestra bobina a partir de la ecuación (9). Siendo Δi la corriente de rizado.

$$\Delta i = i_m - i_{(0)} \quad (9)$$

$$\Delta i = V_{\text{Rectificador}} / L \cdot (1-d) \cdot T \quad (10)$$

Obteniendo como resultado una bobina L2 de 1,6mH, y sus dimensiones son: diámetro=2,5cm, altura=1cm, n°espiras=50, y $\mu=10$, sabiendo que μ es la permeabilidad y esto se debe a que usamos un núcleo de ferrita.

II.4.3 Condensador

El condensador funciona de tal manera que mantenga la tensión establecida, es decir, modera la tensión de salida del elevador. Esto se hace así porque al cerrar el MOSFET bajaría la tensión.

El condensador C2 lo calculamos siguiendo la fórmula (11).

$$C_2 = (i_{0max} \cdot d \cdot T) / (\Delta V_C) \quad (11)$$

Siendo ΔV_C la tensión de rizado, a la que daremos un valor del 2%.

Y el valor del condensador C2 será por tanto de 10uF, 151 RLH.

II.4.4 MOSFET

Como para los demás componentes, simulamos en PSIM.

$$I_{MAX} = 47,2 \text{ A}$$

$$I_{MEDIA} = 3,796 \text{ A}$$

$$I_{EFICAZ} = 6,45 \text{ A}$$

$$V_{MAX} = 502,95 \text{ A}$$

A la hora de elegir el MOSFET, había muchos que no cumplían la condición de corriente máxima. Y al final elegimos el STW15NK90Z de STMicroelectronics, que tiene las siguientes características:

$$I_D = 9,5 \text{ A}$$

$$I_{DM} = 60 \text{ A}$$

$$V_{DS} = 900 \text{ V}$$

$$R_{DS} \leq 0,55 \Omega$$

En estas condiciones (velocidad del viento 55 km/h) se producen unas pérdidas:

$$P_{mosfet} = I_{ef}^2 \cdot R_{DS} \quad (12)$$

$$P_{mosfet} = 6,45^2 \cdot 0,55$$

$$P_{mosfet} = 22,88 \text{ W}$$

Disipación térmica

El datasheet del componente nos proporciona los siguientes datos:

$$R_{jc} = 0,36 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{ja} = 50 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$T_{jmax} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{ca} = 50 - 0,36 = 49,64 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Vemos la potencia que puede disipar:

$$P_d = (T_{jmax} - T_a) / R_{ja} \quad (13)$$

$$P_d = (150 - 25) / 50$$

$$P_d = 2,5 \text{ W}$$

Como podemos ver hace falta el disipador ya que solo es capaz de aliviar 2,5 W y las pérdidas en el mosfet son de 22,88 W.

Vamos a calcular ahora la resistencia térmica que necesitaríamos para disipar esos 22,88 W. Para ello, en vez de R_{ja} en el denominador pondremos $R_{jc} + R_{disipador}$.

Para este cálculo despreciamos la resistencia térmica R_{cs} porque la consideramos despreciable respecto a R_{th} del disipador.

$$22,88 \text{ W} = (150 - 25) / (R_{jc} + R_{disipador})$$

$$22,88 \text{ W} = (150 - 25) / (0,36 + R_{disipador})$$

$$R_{disipador} = 5,1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Con un disipador de esta resistencia como máximo nos valdría. En es.rs-online.com nos vienen recomendados disipadores y elegimos el disipador TO220 TO247 Clipmount 4K/W SK 574/84 y también cogemos las pinzas para sujetar el mosfet a él. Pinza THFU1 para SK 574.

Como podremos observar en la figura 11, conseguimos una tensión estable de 400V y una corriente baja y estable. El inconveniente es que durante el arranque, se produce un pico que puede dar lugar a problemas ya que la tensión aumenta hasta casi 800V. Para controlar esto necesitamos realizar una regulación de nuestro sistema y la programación del arranque, y se explicará en la siguiente sección.

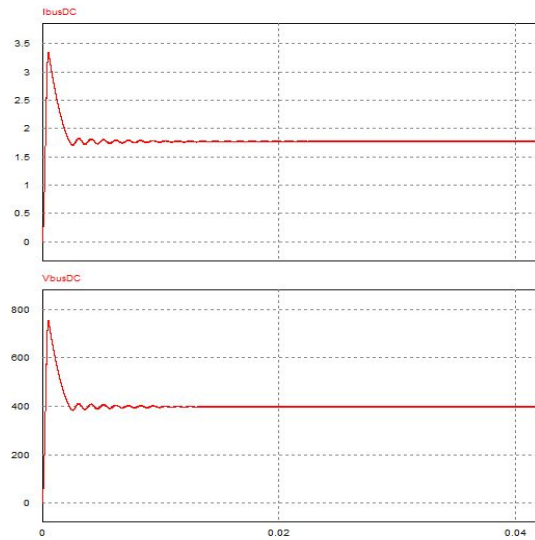


Fig. 11. Tensión y corriente a la salida del elevador (entrada del bus de continua)

II.5 Regulación y control

Para poder obtener la máxima potencia en cualquier momento, debemos seguir un control del proceso de manera continua, ya que el viento no permanece constante. Para ello regulamos una señal PWM (Pulse Width Modulation), con la cual en función de un duty que especificamos controlaremos nuestro MOSFET y la frecuencia de conmutación.

Consiguiendo que si se redujera la velocidad del viento, seguiríamos teniendo la máxima potencia posible. La relación entre la tensión y el duty a partir de la cual empezamos a plantearnos la regulación se basa en la ecuación (14).

$$\text{Duty} = 1 - V_{\text{(PMG_DC)}} / V_{\text{BUS}} \quad (14)$$

Como vemos en la figura 11, debemos tener en cuenta el picotazo de corriente y tensión que sale al arrancar, solucionándolo de manera que durante ese periodo de arranque le damos al duty un valor fijo de tal manera que no tengamos esos picos de corriente y tensión. Y tras ese periodo, el duty tendrá el valor adecuado para hacer trabajar al sistema a la máxima potencia. Esto lo hacemos mediante un programa en C y se regulara siguiendo la figura 12.

Así somos capaces de obtener siempre la máxima potencia y sin peligros de picos en la tensión y corriente. Al final seremos capaces de abastecer de 4kW (aproximadamente) a un bus de continua cuando el viento sea de 55 km/h. Este resultado se puede observar en la figura 14.

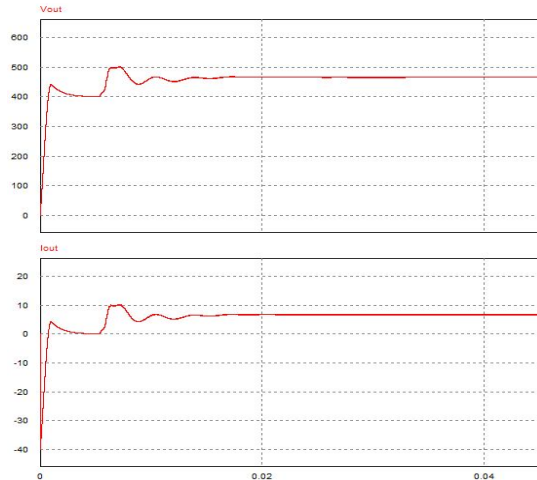


Fig. 14. Tensión y corriente a la salida del elevador mientras se realiza la regulación

III Costes

Una estimación del coste, centrándonos en la parte electrónica sería:

- 6 Diodos rectificadores BY500-800 $\Rightarrow 6 \times 0,40 \text{ €} = 2,4 \text{ €}$
- Diodo P1000M (Semikron) $\Rightarrow 0,80 \text{ €}$
- MOSFET STW15NK90Z (STMicroelectronics) $\Rightarrow 5,25 \text{ €}$

KIT de placa electrónica y microprocesdor $\Rightarrow 30 \text{ €}$ (aprox.)

- Condensador 159 Pul-SI $\Rightarrow 10 \text{ €}$
- Condensador 151 RLH $\Rightarrow 3 \text{ €}$
- Dos bobinas utilizadas $\Rightarrow <15 \text{ €}$

Nos saldría un coste total de 70 € aproximadamente.

IV Posibles enfoques a futuro

Inyección de la energía a la red de la casa donde esté instalado el microgenerador. Diseño de un inversor.

Concepto de balance neto.

También Almacenamiento en baterías para su posterior uso. Cargador doméstico de coche eléctrico, etc.

Almacenamiento en supercondensadores.

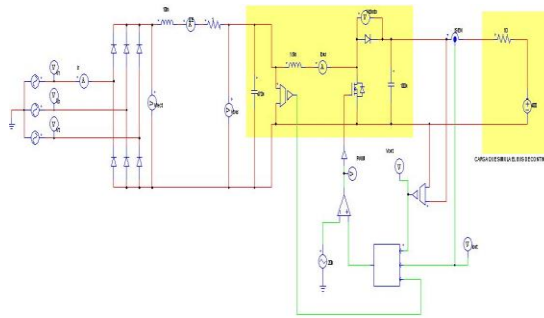


Fig. 15. Esquema final del proyecto

Con este proyecto, lo que conseguimos es abaratar los costes del día a día reduciendo el consumo de energía.

Y esto se puede ver en los 4kW que somos capaces de ofrecer, ya que seríamos capaces de alimentar a varios aparatos domésticos, por ejemplo, un horno, un televisor, etc.

TEMPY

III. ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by “Ministerio de Educación y Ciencia” of the Spanish Government (ENERLIGHT project- reference MICINN-10-DPI2010-15889) and (LITCITY project –reference ENE 2013-41491-R). Acknowledge the assistance of the *Workroom on Renewable Energy (WRE)* collaboration of the *Engineering Polytechnic School of Gijón – Asturias - Spain (EPI-Gijón)* in brainstorming and preparation of prototypes.

REFERENCES

TEMPLATE