

Circuito de mando para el control de la excitación del generador asincrónico en régimen autónomo*

Roger Rafael Fonseca Bles

Carrera: Ingeniería eléctrica.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se realizó la simulación de un circuito de mando para el control de la excitación de la máquina asincrónica con rotor en jaula trabajando como aerogenerador en régimen autónomo o aislado, con el objetivo de suprimir el reactivo inductivo demandado por la máquina para la creación de su campo magnético principal y de asumir los cambios posibles del carácter reactivo de la carga. Se diseñó un circuito capaz de detectar la diferencia de fase en la carga, lo que posibilitó generar una señal suficiente para el control de la excitación con un control de pulsos múltiples por ciclos. Como resultado principal se logra una variación de aproximadamente seis a veinte pulsos por ciclo en proporción directa al ángulo de fase (φ).

Palabras clave: Circuito de mando; aerogenerador; rotor en jaula.

* Trabajo tutorado por el M. Sc. Wilber Acuña Rodríguez.

Recibido: 25 mayo 2013 / Aceptado: 28 febrero 2014.

Controller for automatically-operated self-exciting asynchronous generators

Abstract: This investigation was based on simulating a controller to control the excitation in self-excited asynchronous generators having cage rotors. The generator is used as an aerator-generator on automatic mode or isolation to suppress the (inductive) reactive power required by the machine to create its primary magnetic field and respond to potential changes in the reactive nature of the load. The designed circuit is capable to detect the differences in the load phase. This allows sending a multi-pulse excitation signal that controls the excitation by cycles. The investigation results indicated variations of approximately six to twenty pulses per cycle in direct proportion to the phase angle (φ).

Key words: Controller; aerator-generator; cage rotor.

Introducción

La generación de electricidad a partir del viento se ha convertido en una rama muy dinámica de la energética, y muchos países se han propuesto cubrir en un futuro no lejano una parte importante de sus necesidades eléctricas con ella, mediante la implementación de parques eólicos.

La conexión de los parques eólicos a las redes eléctricas presenta problemas de diferentes naturalezas. Estos problemas se derivan de la naturaleza del elemento de conversión electromecánico de energía (la máquina asíncrona o síncrona) y de la característica aleatoria de la fuente de energía primaria (el viento). La máquina asíncrona carece de capacidad de regulación de tensión y frecuencia, y absorbe potencia reactiva en todo su margen de funcionamiento. Es preciso que la red a la que está conectada proporcione la potencia reactiva que necesita y mantenga la tensión y frecuencia en sus bornes ante variaciones de la carga (AA.VV., 2012).

Partiendo del impedimento de regular la excitación en aerogeneradores asíncronos en régimen autónomo o aislado, en dependencia de los cambios de la carga, se pretende diseñar y simular un circuito eléctrico capaz de detectar fase en la carga, que permita regular la excitación del aerogenerador asíncrono en régimen autónomo con carga variable (Ruiz, 2009).

En este trabajo se diseña un circuito de mando que brinda un control de pulsos múltiples por ciclos, con el objetivo de suprimir al máximo el reactivo inductivo demandado por el generador asíncrono para crear su campo magnético principal, además de asumir también los cambios dinámicos de la carga cuando el mismo se encuentra trabajando en régimen autónomo o aislado. La variación de pulsos por semiciclo será proporcional al desfase existente entre las sinusoides tensión y corriente, lo que permite que en el circuito aparezcan variaciones en la carga como se menciona anteriormente. El principio de funcionamiento de este circuito se basa en el sensado previo del desfase entre la tensión y la corriente para luego generar un tren de pulsos a una frecuencia variable, en proporción lo más directo posible a la diferencia previamente obtenida. La frecuencia será proporcionada por un temporizador integrado conectado como oscilador controlado por voltaje, en este caso el LM555CN.

Esquema en bloques del circuito propuesto

Se propone un circuito formado por un bloque de sensado (de tensión y corriente), un bloque de detección de fase, un bloque de regulación, un bloque de generación de frecuencia (oscilador), un bloque de modulación, un bloque de detección de cruce por cero y un bloque de amplificación.

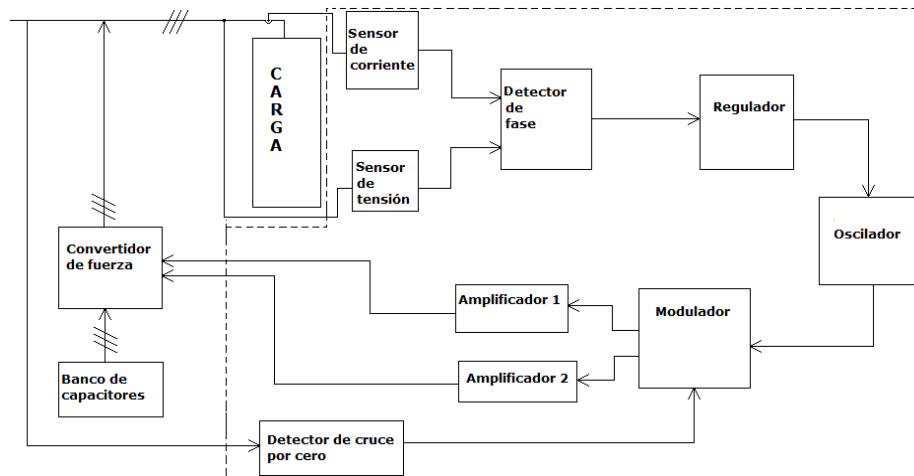


Figura 1. Esquema en bloques del circuito.

En la Figura 1 se muestra el esquema en bloques del circuito que se propone para la regulación de la excitación, o como se nombra en este trabajo, circuito de mando. Primeramente se tienen los sensores tanto de tensión como de corriente, los que básicamente trabajarán con transformadores de corriente y tensión que se encargarán de llevar las señales reducidas en amplitud al detector de fase, el cual estará compuesto por un circuito que tendrá como señal de entrada dos señales sinusoidales (en este caso tensión y corriente a 60 Hz) desfasadas o no, y se encargará de sacar una señal positiva cuadrada (a 60 Hz) con un tiempo de encendido (TON) proporcional al desfase entre las dos señales de entrada. Esta onda cuadrada llegará al bloque de regulación, el cual deberá, a través de un circuito, obtener una señal de salida de tensión lineal variable en proporción al TON del pulso de la entrada, para con esta comandar el siguiente bloque formado por un oscilador controlado por voltaje (VCO), quien oscilará a diferentes frecuencias en función de los diferentes niveles de tensión. El modulador, quien como señal principal tendrá la detección de cruce por cero de la sinusoide de la línea, desfasará estas oscilaciones a 1 800 una de la otra para luego amplificarlas y enviarlas al convertidor de fuerza. La tensión de salida en el convertidor de fuerza será proporcional al valor de frecuencia que llega del circuito de mando.

Bloque de sensado de tensión y corriente

Este bloque está compuesto por un transformador de tensión y uno de corriente como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. a) Transformador de tensión. b) Transformador de corriente.

Para escoger el transformador de tensión calcularemos solamente el coeficiente de transformación (K), teniendo en cuenta que la tensión de salida (U_2) que queremos es 12 V y la tensión de entrada (U_1) es 220 V se tiene que:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{12} = 18.3$$

Para el transformador de corriente sería lo mismo ya que su principio de funcionamiento es igual, solo que este tipo de transformador (para bornes) es un tipo especial toroidal proyectado para colocarse en los bornes aislados de los aparatos, actuando el conductor del borne como devanado primario.

El detector de fase

El detector de fase será el circuito a utilizar para monitorear de forma constante el comportamiento reactivo de la carga. Este segundo bloque, el cual tendrá como señal de entrada las sinusoides de tensión y de corriente (ya reducidas en magnitud a través de los transformadores) estará formado por una resistencia quien solo tendrá como función limitar la señal de entrada del operacional. Luego se conectan dos diodos en antiparalelo que se encargarán de recortar la señal de tensión de entrada a la tensión umbral de los mismos (0,7 asumiendo que sean de silicio), siendo esta la señal de entrada del operacional (741) de quien depende la salida cuadrada positiva coincidiendo solo con el positivo de la onda recortada por los diodos; esto se debe al principio de funcionamiento y conexión de la 741 que se basa en una amplificación idealmente infinita con una salida de señal recortada al valor del voltaje de saturación menos aproximadamente dos volts. Como se muestra en la Figura 3, lo explicado anteriormente sucede tanto para la tensión como la corriente, con la única diferencia de que para el segundo la salida del operacional se niega, logrando que al

multiplicarlas se obtenga una señal digital cuadrada pulsante con un TON directamente proporcional al desfase existente entre las ondas de tensión y corriente.

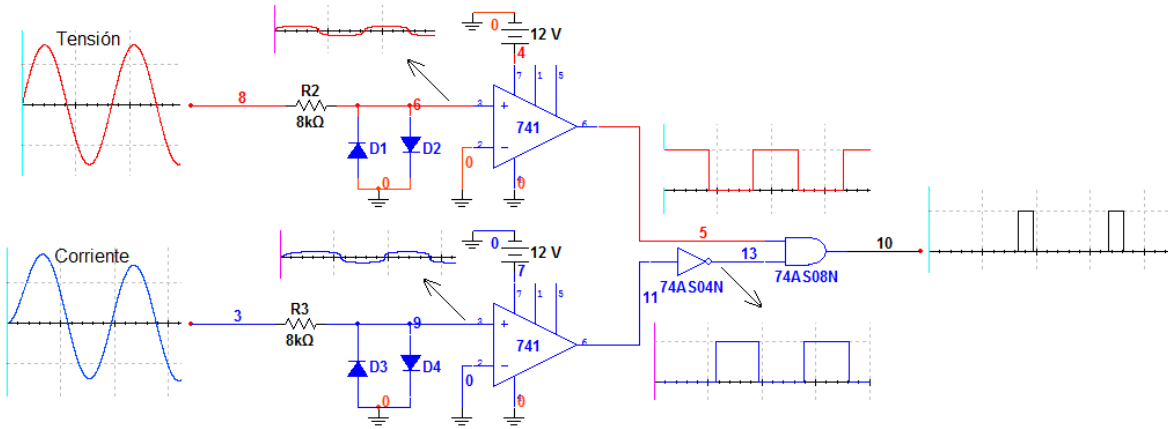


Figura 3. Esquema del detector de fase.

La resistencia se puede calcular de la siguiente forma. Para obtener una corriente de aproximadamente 1,4 mA sería:

$$I = (V_e - V_\gamma) / R \text{ donde:}$$

$V_\gamma \rightarrow$ Tensión umbral del diodo. Despejando R tendríamos:

$$R = \frac{V_e - V_\delta}{I} = \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1.4 \times 10^{-3}\text{ A}} = 8.071\text{ k}\Omega$$

Por lo que se escoge una resistencia de 8 kΩ

El regulador

Este circuito aparece por la necesidad de convertir esta señal cuadrada positiva obtenida del detector de fase que, como sabemos, puede variar su TON, en una señal continua positiva variable en proporción a este tiempo de encendido, es decir, la función principal de este bloque es lograr convertir tiempo de encendido en nivel de tensión. Para lograr esto se diseñó un circuito formado por un temporizador integrado 555 como astable, un contador, un demultiplexor y un "selector de nivel de tensión" que, como se explica más adelante, deberá obtener distintos niveles de tensión en correspondencia con la señal del decodificador, además de retener la misma en el tiempo en que esta se haga cero debido al sistema de muestreo diseñado. En la Figura 4 se muestra el conjunto de dispositivos que conforman el regulador. Para mayor

entendimiento explicaremos cada uno de estos dispositivos y principio de funcionamiento por separado, comenzando por el 555.

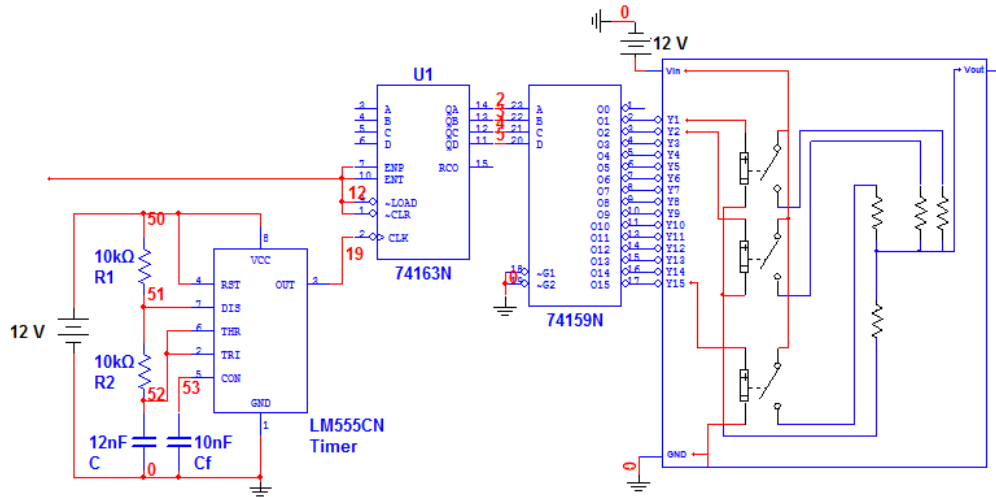


Figura 4. Esquema del regulador.

El temporizador integrado 555

El 555 es un circuito integrado que incorpora dentro de sí dos comparadores de voltaje, un flip-flop (FF), una etapa de salida de corriente, un divisor de voltaje resistor y un transistor de descarga. Dependiendo de cómo se interconecten estas funciones, utilizando componentes externos, es posible conseguir que dicho circuito realice un gran número de funciones, tales como la del multivibrador astable y la del circuito monoestable. El 555 tiene diversas aplicaciones, como: control de sistemas secuenciales, divisor de frecuencias, modulación por ancho de pulso, generación de tiempos de retraso, repetición de pulsos, etc.

-Funcionamiento

Se alimenta de una fuente externa conectada entre sus terminales 8 (+Vcc) y 1 (GND) tierra; el valor de esta fuente puede variar desde 5 V hasta 15 V de corriente continua. La misma fuente exterior se conecta a un circuito pasivo RC exterior que proporciona, por medio de la descarga de su capacitor, una señal de voltaje que está en función del tiempo, esta señal de tensión es de 1/3 de Vcc y se compara contra el voltaje aplicado externamente sobre la terminal 2 (TRIGGER) que es la entrada de un comparador. El terminal 6 (THRESHOLD) se ofrece como la entrada de otro comparador, en la cual se compara 2/3 del Vcc contra la amplitud de señal externa que le sirve de disparo. El

terminal 5 (CONTROL VOLTAGE) se dispone para producir modulación por anchura de pulsos, la descarga del condensador exterior se hace por medio del terminal 7 (DISCHARGE), se descarga cuando el transistor (NPN) T1, se encuentra en saturación, se puede descargar prematuramente el capacitor por medio de la polarización del transistor (PNP) T2.

Se dispone de la base de T2 en el terminal 4 (RESET) del circuito integrado 555. Si no se desea descargar antes de que se termine el periodo, este terminal debe conectarse directamente a Vcc, con esto se logra mantener cortado al transistor T2, de otro modo se puede poner a cero la salida involuntariamente, aun cuando no se desee. La salida está provista en el terminal (3) del microcircuito y es, además, la salida de un amplificador de corriente (buffer), este hecho le da más versatilidad al circuito de tiempo 555, ya que la corriente máxima que se puede obtener cuando la terminal (3) se conecta directamente al nivel de tierra es de 200 mA. La salida del comparador A y la salida del comparador B están conectadas al Reset y Set del FF tipo SR, respectivamente, la salida del FF-SR actúa como señal de entrada para el amplificador de corriente (Buffer), mientras que en el terminal 6 el nivel de tensión sea más pequeño que el nivel de voltaje contra el que se compara la entrada Reset del FF-SR no se activará. Por otra parte, mientras que el nivel de tensión presente en la terminal 2 sea más grande que el nivel de tensión contra el que se compara la entrada Set del FF-SR, este tampoco se activará.

-Circuito astable básico:

Si se usa en este modo el circuito, su principal característica es una forma de onda rectangular a la salida, en la cual el ancho de la onda puede ser manejado con los valores de ciertos elementos en el diseño. Para esto debemos aplicar las siguientes formulas:

$$T_A = 0,693 * R_1 + R_2 * C_1$$

$$T_B = 0,693 * R_2 * C_1$$

Donde T_A es el tiempo del nivel alto de la señal y T_B es el tiempo del nivel bajo de la señal. Estos tiempos dependen de los valores de R_1 y R_2 . El periodo es:

$$T = \frac{1}{f}$$

La frecuencia con que la señal de salida oscila está dada por la fórmula:

$$f = \frac{1}{0.693 * C1 * (R1 + 2 * R2)}$$

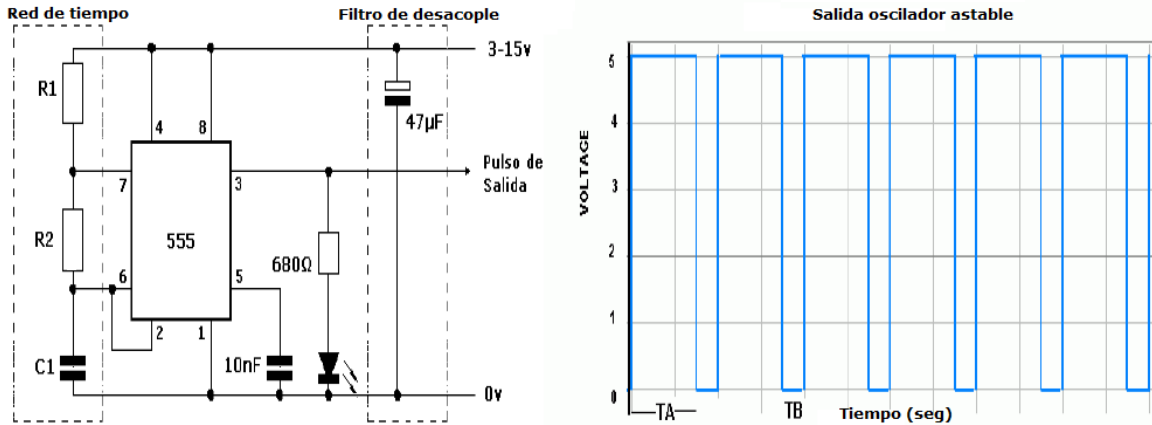


Figura 5. El 555 como astable.

-Circuito monoestable

En este caso el timer (temporizador) 555 en su modo monoestable funcionará como un circuito de un tiro. Dentro del 555 hay un transistor que mantiene a C1 descargado inicialmente. Cuando un pulso negativo se dispara se aplica al terminal 2, el flip-flop interno se setea, lo que quita el corto de C1 y esto causa una salida alta (*high*) en el terminal 3 (terminal de salida). La salida a través del capacitor aumenta exponencialmente con la constante de tiempo: $t = R1 * C1$

Cuando el voltaje a través de C1 iguala dos tercios de Vcc el comparador interno del 555 se resetea el flip-flop, que entonces descarga el capacitor C1 rápidamente y lleva al terminal de salida a su estado bajo (*low*). El circuito e activado con un impulso de entrada que va en dirección negativa cuando el nivel llega a un tercio de Vcc. Una vez disparado, el circuito permanece en ese estado hasta que pasa el tiempo de seteo, aun si se vuelve a disparar el circuito. La duración del estado alto (*high*) es dada por la ecuación: $T = 1.1 (R1 * C1)$

El intervalo es independiente del voltaje de Vcc. Cuando el terminal reset no se usa, debe atarse a un nivel alto para evitar disparos espontáneos o falsos.

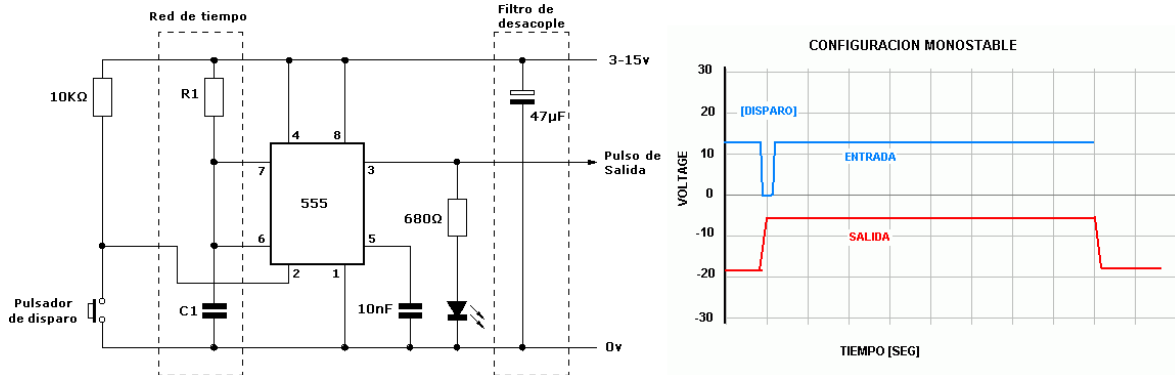


Figura 6. El 555 como monoestable.

-Circuito escogido

En este caso se utiliza la conexión como multivibrador astable y el esquema se muestra a continuación en la Figura 7.

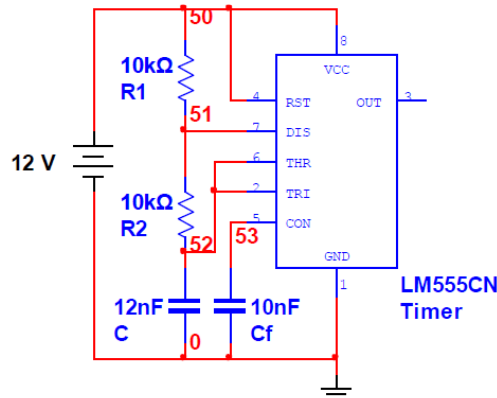


Figura 7. Esquema de la aplicación de multivibrador astable del 555.

En este trabajo el multivibrador se calcula para generar una frecuencia de $4 \cdot 16$ veces mayor a la de la frecuencia de salida del detector de fase (60 Hz), lo que sería $4 \cdot 16 \cdot 60 = 3840$, esto se debe a que su función es generar 16 pulsos para el defasaje máximo que aparezca entre tensión y corriente que, como sabemos, solo puede alcanzar una cuarta parte de su periodo, como se muestra a continuación en la Figura 8, nótese que para este momento φ alcanza su máximo valor (90°).

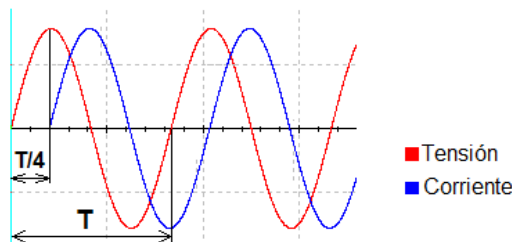


Figura 8. Defasaje máximo entre tensión y corriente (corriente en atraso).

Teniendo la frecuencia deseada y según la ecuación $T=1.1 (R1 \cdot C1)$ se hace el cálculo del capacitor prefijando los valores de las resistencias, en este caso $R1 = R2 = 10 \text{ k}\Omega$.

$$C1 = \frac{1}{0.693 \cdot f \cdot (R1 + 2 \cdot R2)} = \frac{1}{0.693 \cdot 3840 \cdot 3R} = \frac{1}{2661.12 \cdot 30000} = 12.5e^{-9}$$

Y se escoge un capacitor de 12 nF (Figura 7).

El contador y el decodificador

-El contador

El C.I. (74163) es un contador sincrónico de cuatro bits que da una respuesta binaria y se utiliza en este circuito con la función de registrar la cantidad de pulsos (a 3840 Hz) contados en el tiempo de encendido de la señal dada por el detector de fase, o lo que es lo mismo, en el tiempo de defasaje entre la tensión y la corriente. Primeramente, para lograr que la 74163 cuente solamente durante el tiempo de encendido de la señal de entrada y luego se restee, sencillamente conectaremos al pin CLR (*clear*) esta señal de entrada que al mismo tiempo suministrará un nivel alto a los pines ENT, ENP y LOAD para el correcto funcionamiento de la misma, como se puede ver en la Figura 9.

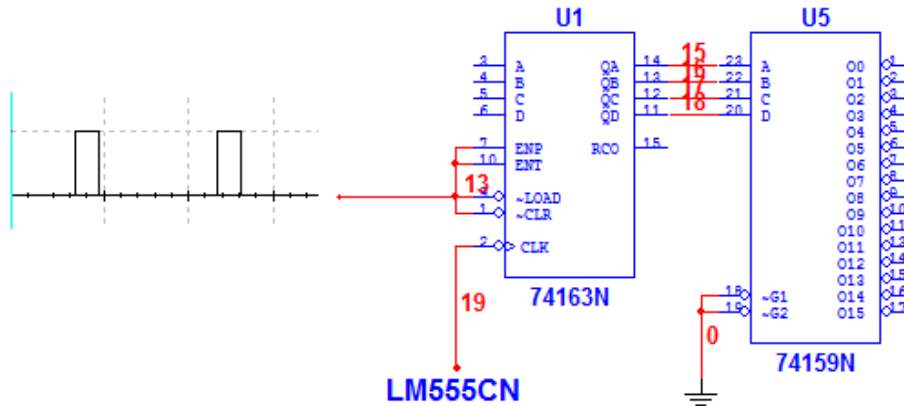


Figura 9. Esquema y conexión del contador y el decodificador.

-El decodificador-demúltiplex

En un sistema digital pueden transmitirse tanto instrucciones como números mediante niveles binarios o trenes de impulsos. Si por ejemplo, los cuatro bit de un mensaje se disponen para transmitir instrucciones se pueden lograr 16 órdenes distintas y se dice que esta información está codificada en sistema binario. Frecuentemente se precisa de

un conmutador de varias posiciones que pueda funcionar de acuerdo con este código. Dicho de otra forma: para cada uno de los 16 códigos una, y solo una línea, debe ser excitada. Esta forma de identificar un código particular se denomina decodificación. Existe una gran variedad de decodificadores, entre los más frecuentes están los decodificadores-demúltiplex de 2 a 4 líneas (74139), de 3 a 8 (74138), etc. En este trabajo utilizamos un 74159, cuya hoja de datos se muestra en el anexo 2, que es un decodificador-demúltiplex de 4 a 16 líneas. Tiene 4 líneas de selección, 16 de salida y 2 entradas de habilitación que se activan con un nivel bajo (*low*).

El selector de nivel de tensión

Este circuito aparece por la necesidad de generar distintos niveles de tensión de acuerdo a la salida que proporciona la 74159. Esto se logra con un banco de resistencias de diferentes valores conectadas en divisor de tensión, con una fuente de alimentación con el valor máximo que se desee, y luego excitando una y solo una de estas resistencias obteniendo a la salida un valor de tensión variable de acuerdo a la resistencia que se conecte.

La 74159 proporciona un pulso alto en uno y solo uno de sus terminales de acuerdo al conteo de la 74163, sin embargo, esto no es suficiente para hacer funcionar el circuito, haciendo necesaria la intromisión de interruptores controlados por voltaje, logrando así el resultado necesario (Figura 10). Por último, se necesita mantener esta señal generada que solo aparece durante el tiempo de conteo de la 74163, que como sabemos solo durará máximo una cuarta parte del tiempo en que esta vuelve a aparecer. Para lograr esto se añade un circuito de muestreo y retención en su configuración más sencilla que consta de dos operacionales seguidores de tensión, un capacitor y una puerta de gobierno, en este caso un interruptor controlado por voltaje (Voltage Controlled Switch (VCS)). Un impulso positivo en el VCS pone en conducción al interruptor y el condensador de retención C carga hacia el valor instantáneo de la tensión de entrada, con una constante de tiempo $R_o + RVCS(ON)$, siendo R_o la resistencia de salida (verdaderamente baja) del Amp-Op seguidor de tensión de entrada U1 y $RVCS(ON)$ la resistencia en conducción del VCS. En ausencia de un impulso positivo se corta el interruptor y el condensador queda aislado de cualquier carga a través del Amp-Op U2, manteniendo la tensión alcanzada.

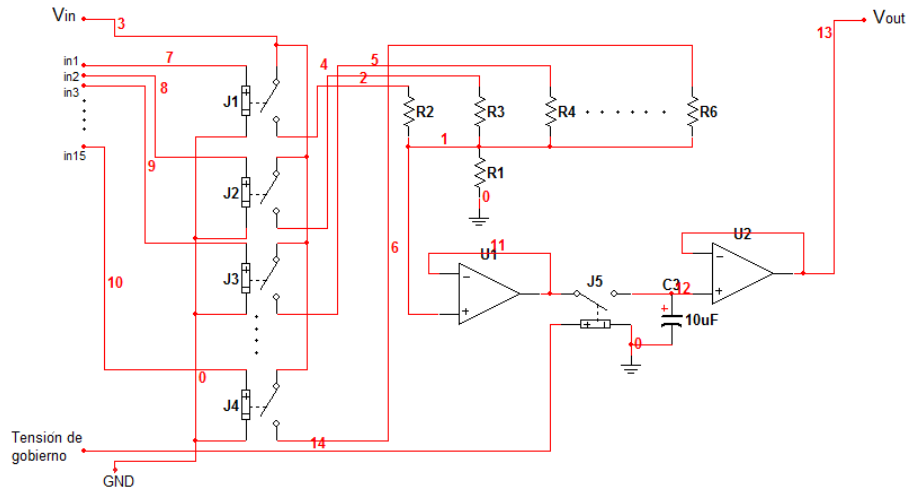


Figura 10. Selector de tensión.

Para calcular los valores de resistencia debemos ver primero cómo se comporta el oscilador controlado por voltaje que vamos a utilizar para entonces aplicar un divisor de tensión para cada resistencia. Para mayor entendimiento se muestra la Figura 11.

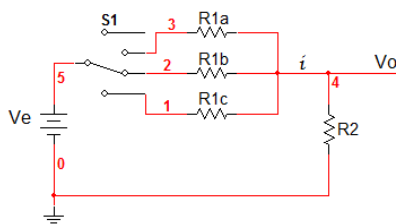


Figura 11. Divisor de tensión.

Los valores de tensión que se necesitan (en voltios) son: 11; 10,65; 10,25; 9,8; 9,3; 8,8; 8,2; 7,7; 7; 6,5; 5,9; 5,2; 4,3; 4 y 1,7. Teniendo una fuente de alimentación de 12 V y una resistencia fija (R2) de 1K, para obtener 11 V, sería:

$$11 = 12 V * \frac{1000\Omega}{R1 + 1000\Omega}$$

Despejando R1

$$R1 = 12 V * \frac{1000 \Omega}{11 V} - 1000 \Omega = 90.90 \Omega \approx 91 \Omega$$

Del mismo modo se encuentran todos lo demás valores de resistencias (en ohmios) mostrados a continuación: 127; 171; 224; 290; 364; 463; 558; 714; 846; 1034; 1308; 1791; 2000 y 6060.

El oscilador controlado por voltaje (VCO)

El oscilador controlado por voltaje no es más que la conexión de un 555 como VCO donde sencillamente se conecta el pin de control de voltaje (terminal 5) a una señal de tensión variable, logrando a la salida una señal de frecuencia variable. Esta frecuencia de salida tiene el impedimento de que también variará en su tiempo de encendido debido a que si varía la tensión de referencia o control (terminal 5) de un 555, para poder obtener una señal simétrica cuadrada como la que se requiere a la salida, se tiene que variar constantemente las resistencias externas del temporizador. Para solucionar esto se conecta a la salida del 555 un flip-flop JK que funciona como divisor de frecuencia, logrando una forma de onda simétrica cuadrada.

El detector de cruce por cero

Se utiliza un detector de cruce por cero para generar la onda moduladora que luego será proporcionada al bloque de modulación. Su funcionamiento consiste en sensar la señal de tensión en la línea, para generar un tren de pulsos cuadrados positivos con un valor de frecuencia igual al de la señal de entrada, en este caso con un tiempo de apagado (TOFF) igual al semiciclo positivo de la sinusoide, y un tiempo de encendido (TON) igual al semiciclo negativo de la misma.

El detector está formado por tres resistencias, un diodo, un optoacoplador y una fuente. La primera resistencia tiene como objetivo limitar la corriente que llega al diodo, el que se encarga de mantener el semiciclo positivo y llevar a tierra el negativo (como un rectificador de media onda). La segunda resistencia, con la misma función que la primera pero para el optoacoplador, el cual debe aislar la señal eléctricamente. Los optoacopladores combinan un diodo emisor de luz infrarroja (ILED) y un fototransistor, formando un acople unidireccional (ILED al fototransistor) que permite un aislamiento eléctrico de hasta 7500 V, al no existir conexión eléctrica entre la entrada y la salida, en este caso se utilizó el optoacoplador 4N27

El optoacoplador (fototransistor) se saturará con la señal positiva que llega a él (diodo), llevando el voltaje de la fuente a tierra, mientras que cuando no se satura se mantiene el voltaje de la fuente a la salida. De esta forma se convierte la señal de tensión de la entrada (220 V) a un pulso cuadrado positivo (24 V) sincronizado con la misma.

Modulación y amplificación

Este último bloque será el que proporcione al circuito o esquema de fuerza la señal de mando, de forma autónoma, para el control de la excitación de generador asincrónico en régimen aislado. Como se puede ver en la Figura 12, consiste en dos compuertas NAND de dos entradas, las cuales tendrán a una entrada una señal común (onda modulada), en este caso la frecuencia generada por el VCO, y la otra entrada tendrá por señal la detección de cruce por cero (onda moduladora) que llegará de forma directa a una mientras que a la otra llegará con "retraso" (inversión de la señal) de 180°, provocado por una compuerta NOT conectada a la misma. Luego se conectan los optoacopladores que, como vimos en la sección anterior, tendrán como función aislar (eléctricamente) el circuito de control del circuito de potencia, por el cual circularán grandes corrientes.

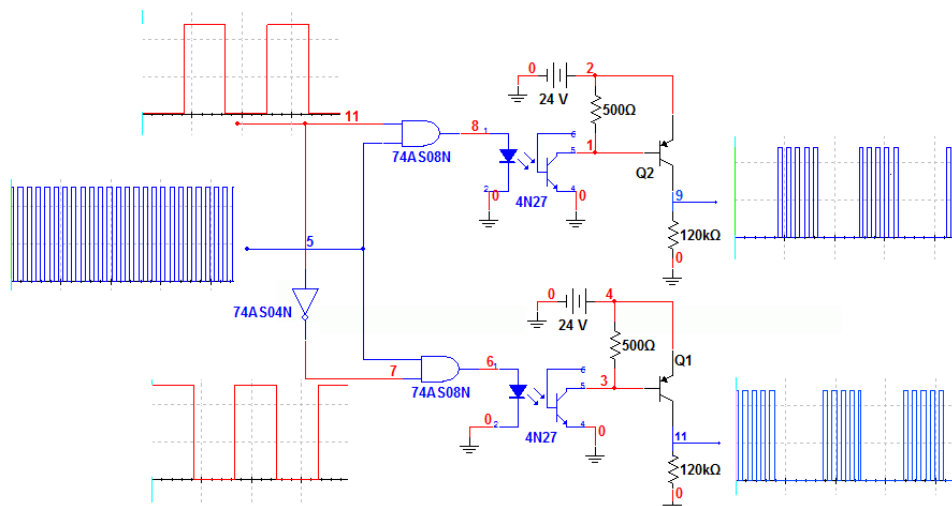


Figura 12. Esquema del circuito de modulación y amplificación.

Simulación electrónica en Multisim

Después de realizado el diseño del circuito de mando pasamos a su simulación con ayuda del software Multisim, siendo este un software internacional nacionalizado mediante el cual se pueden comprobar todos los valores de tensión y corriente en cada uno de los nodos del circuito así como sus formas de onda, logrando una verificación precisa del funcionamiento correcto del diseño.

Todas las formas de onda mostradas en las figuras del capítulo han sido parte de la simulación, comprobando con estas el correcto funcionamiento del mismo.

Análisis de los resultados

La variante de circuito de control obtenida posee condiciones de regulación del convertidor de fuerza para poder lograr una onda sinusoidal modulada, en función del ángulo de fase de la carga, las formas de ondas del diseño coinciden con las obtenidas en las simulaciones de los circuitos. Técnicamente el circuito es viable y muy simple económicamente, las formas de ondas alcanzadas están libres de oscilaciones y perturbaciones externas; no presenta ruidos ni procesos transitorios debido a armónicos, aunque la onda generada en el convertidor de fuerza es propensa a la intromisión de armónicos, pero de orden superior.

La ejecución del circuito de mando para la excitación del generador asincrónico en régimen aislado es viable, debido a los beneficios que este aporta a la generación eólica y a la economía del país, justificando esto que el costo no sea un impedimento.

Conclusiones

Se diseñó un circuito de mando para el control de la excitación del aerogenerador asincrónico en régimen autónomo, con un principio de control de pulsos múltiples por ciclos, logrando una variación aproximadamente de tres a diez pulsos por semiciclo en función del carácter reactivo de la carga.

Se obtiene una forma de onda simétrica cuadrada coincidente con la que se pronosticó en el diseño.

Referencias bibliográficas

COLECTIVO DE AUTORES. 2012: *Manual operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica*. Interconsulting Bureau S.L. ICB Editores. España, 180 p. ISBN: 8490210292.

RUIZ, G. 2009: *Electrónica básica para ingenieros: problemas resueltos*. Colección: Textos universitarios. España, 328 p.