

# DE LORENZO GROUP

**REDES ELECTRICAS  
DL 3155M02  
GUIA TEORICA**

Laboratorio TIME

*50 years  
in the field of  
technical  
education*



UNI EN ISO 9001  
UNI EN ISO 9002



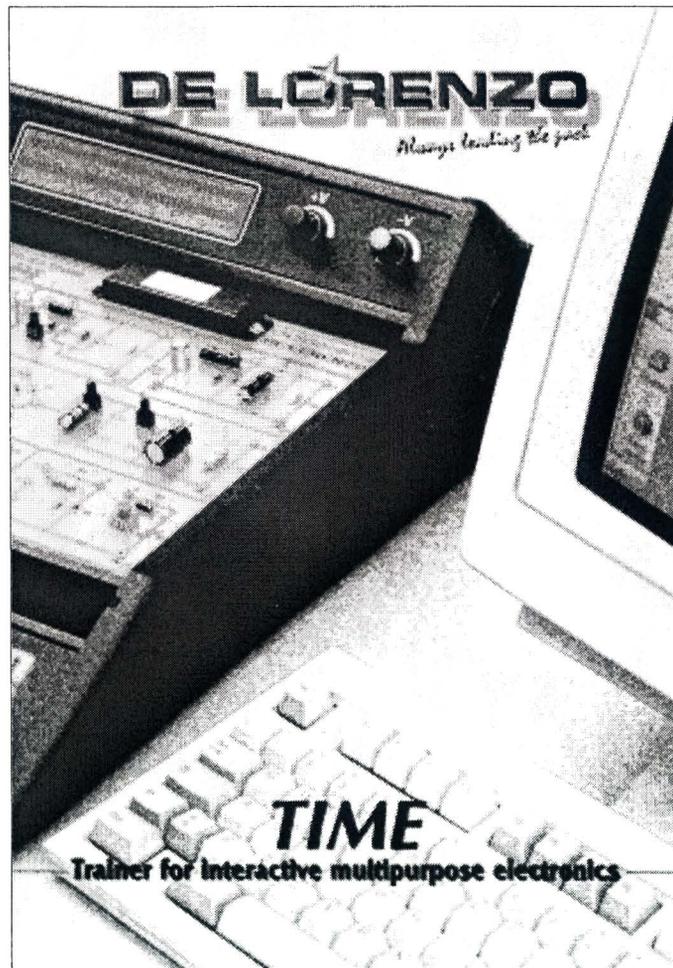


# DE LORENZO

*Always leading the pack*

**REDES ELECTRICAS  
DL 3155M02  
GUIA TEORICA**

## Laboratorio TIME





## **CONTENIDO**

### **LECCIÓN 1**

#### **ELEMENTOS DE UNA RED ELÉCTRICA**

Concepto de nodo, ramal y malla

Página 3

### **LECCIÓN 2**

#### **LEYES DE KIRCHHOFF**

Leyes de Kirchhoff

Página 7

### **LECCIÓN 3**

#### **RESISTENCIAS EN SERIE Y EN PARALELO**

Generalidades

Página 15

Resistencias en serie

Página 17

Resistencias en paralelo

Página 19

Conexión en serie – paralelo

Página 21

Divisor de voltaje

Página 23

### **LECCIÓN 4**

#### **TEOREMA DE LA SUPERPOSICIÓN DE LOS EFECTOS**

Teorema de la superposición de los efectos

Página 27

**LECCIÓN 5****TEOREMAS DE THEVENIN Y NORTON**

Teorema de Thevenin

Página 33

Teorema de Norton

Página 35

**LECCIÓN 6****TEOREMA DE MILLMAN**

Teorema de Millman

Página 41

**APÉNDICE**

Preguntas de verificación

Página 45

Unidad 1

Página 45

Unidad 2

Página 46

Unidad 3

Página 47

Unidad 4

Página 48

Unidad 5

Página 49

Unidad 6

Página 50

Unidad 7

Página 51

Unidad 8

Página 52

Unidad 9

Página 53

Respuestas correctas a las preguntas de verificación

Página 54

Respuestas de la simulación de fallas

Página 55

Respuestas correctas de la simulación de fallas

Página 56

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Página 59

**PREFACIO**

*TIME (Entrenador para Electrónica Interactiva Multipropósito) ha sido diseñada con el objetivo de suministrar al estudiante una excelente herramienta educativa, no sólo por el aprendizaje gradual de los principios teóricos básicos, explicados en cada módulo, sino también por evaluar el conocimiento práctico del estudiante, apuntando a un correcto entendimiento de toda la materia.*

*TIME se caracteriza por su versatilidad y adaptación a la continua evolución de la tecnología, estimulando las habilidades y la capacidad lógica del estudiante, a través de aplicaciones grupales e individuales y suministrando al profesor una herramienta eficiente respaldada por una innovadora metodología de enseñanza. El estudiante puede, de hecho, evaluar, explorar, experimentar directamente y asimilar fácilmente lo que está estudiando.*

*Una peculiaridad de esta metodología de enseñanza es la subdivisión en módulos que reproducen circuitos reales correspondientes al tema a ser evaluado.*

*Cada módulo se completa con un Manual del Profesor y un Manual del Estudiante, estrictamente interconectados, para permitir al alumno un aprendizaje simple y gradual y al profesor una eficiente guía para planear los cursos.*

*El Manual del Profesor se subdivide en Lecciones organizadas de la siguiente manera:*

- *identificación de los objetivos*
- *verificación de los requisitos previos requeridos*
- *contenidos*

*Los objetivos del curso son definidos por el profesor, quien debe verificar el nivel de aprendizaje de los estudiantes y su conocimiento con el fin de establecer el camino educativo a seguir.*

*El Manual del Profesor ha sido integrado con un apéndice donde las preguntas evaluativas, planteadas a los alumnos para controlar su habilidad de aprendizaje, han sido incluidas junto con las respuestas a los errores simulados en los circuitos y los datos técnicos correspondientes a los componentes, fáciles de encontrar, usados en los experimentos.*

*El Manual del Estudiante se subdivide en unidades organizadas de la siguiente manera:*

- *identificación de los objetivos*
- *verificación de los requisitos previos requeridos*
- *equipamiento necesario*
- *selección del camino educativo a seguir*
- *presentación de los procedimientos para la preparación y realización de los experimentos*
- *evaluaciones, durante los experimentos, para verificar si los estudiantes están aprendiendo*
- *análisis de los resultados*

*Dentro de un cierto tiempo, el estudiante debe estudiar un circuito, entender la teoría pertinente, analizar las condiciones de operación y verificar, por medio de un equipo de instrumentos adecuados, la situación en diversos puntos de prueba del circuito.*

*El Autor  
G. Filella*



# LECCIÓN 1

## **Elementos de una red eléctrica**

### □ **OBJETIVOS**

Conocer:

- Las definiciones de nodo, ramal y malla

Poder:

- Reconocer los nodos, los ramales y las mallas en una red eléctrica

### □ **REQUISITOS**

- Concepto de circuito eléctrico

### □ **TEMA**

- Concepto de nodo, ramal y malla



### CONCEPTO DE NODO, RAMAL Y MALLA

El circuito eléctrico más simple está compuesto por un generador conectado, por medio de conductores, a una resistencia. Pero generalmente los circuitos son más complejos ya que están compuestos por más de una resistencia conectada entre ellas. Por lo tanto, es necesario incluir nuevos conceptos que permitan definir, de un modo completo, las características de un circuito eléctrico.

Definimos como **Nodo** al punto de unión de 3 ó más conductores. La parte del circuito que conecta dos nodos, atravesado por una única corriente y que contiene al menos un elemento, se llama **Ramal**. Definimos como **Malla** a un camino cerrado dentro de un circuito compuesto por extremos consecutivos (ramales).

Después de todo, una red eléctrica no es más que un circuito complejo compuesto por más de una malla.

Ejemplo

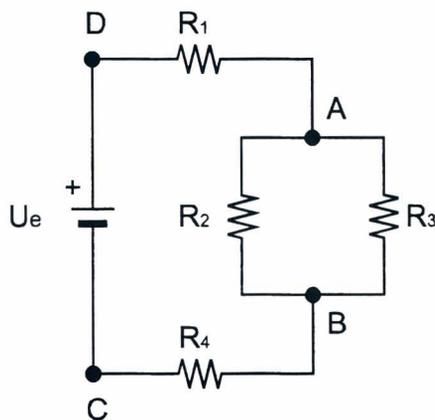


Fig. 2.1.1

La red eléctrica representada en la Fig. 2.1.1 está compuesta por:

- los nodos A y B;
- los ramales ADCB ( $R_1$   $U_e$   $R_4$ ); AB ( $R_2$ ); AB ( $R_3$ );
- las mallas ABCDA ( $R_2$   $R_4$   $U_e$   $R_1$ ); ABA ( $R_3$   $R_2$ ).

## OBSERVACIÓN

En caso de que algunas conexiones se realicen como se muestra en la Fig. 2.1.2

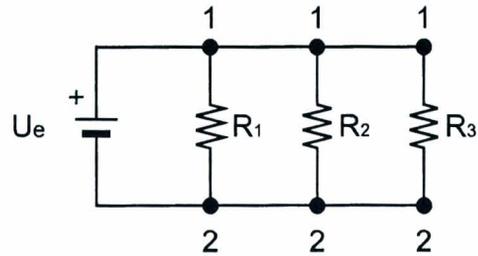


Fig. 2.1.2

los puntos 1,1,1 representan sólo un nodo ya que están todos al mismo potencial; lo mismo para los puntos 2,2,2.

## LECCIÓN 2

### Leyes de Kirchoff

#### □ OBJETIVOS

Conocer:

- Los enunciados de las leyes de Kirchoff
- La manera correcta de escribir las ecuaciones en los nodos y en las mallas

Poder:

- Escribir la ecuación del nodo y de la malla en un circuito dado
- Obtener el valor de la corriente en un nodo, cuando se conocen los valores de todas las demás corrientes que llegan o salen del nodo
- Obtener el valor de corriente o voltaje de un elemento de una malla, conocidas las caídas de voltaje o los valores de los elementos de la malla

#### □ REQUISITOS

- Concepto de voltaje, corriente, circuito eléctrico y direcciones convencionales de voltaje y corriente, ley de Ohm, nodos, ramales y mallas

#### □ TEMA

- Leyes de Kirchoff



## LEYES DE KIRCHHOFF

Si consideramos una red compleja, la ley de Ohm por sí sola no es ahora suficiente para determinar los voltajes y corrientes en los ramales simples. Es por lo tanto necesario aplicar otras leyes y teoremas, de validez general, que permitan la resolución de la red.

**1° LEY DE KIRCHHOFF**

La primera ley de Kirchhoff afirma que: la suma de las corrientes que ingresan a un nodo es igual a las corrientes que salen de él.

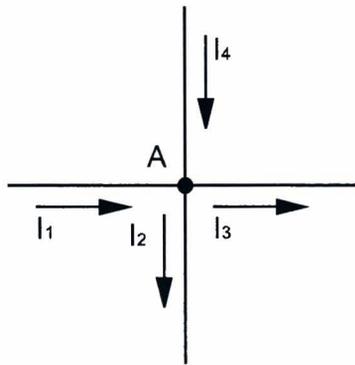


Fig. 2.2.1

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 \quad (2.1)$$

Esta ley también puede ser enunciada de esta manera: la suma algebraica de las corrientes de un nodo es igual a cero. Al utilizar sumas algebraicas se hace necesario dar un signo a las corrientes. De esta manera, las corrientes que entran al nodo son consideradas positivas mientras que las que salen se consideran negativas; por lo tanto la ecuación en el nodo es ahora:

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 = 0$$

Generalmente escribimos:  $\Sigma I = 0$  (2.2)

La primera ley de Kirchhoff permite determinar la corriente que entra y sale de un nodo cuando conocemos las demás. El procedimiento a seguir se aclara con un ejemplo.

Consideremos el circuito de la Fig. 2.2.2:

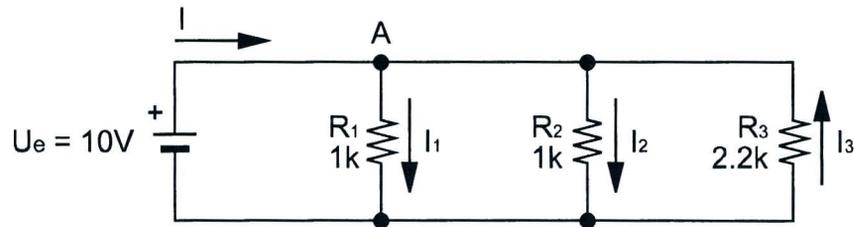


Fig. 2.2.2

$$I = 24.5\text{mA}; \quad I_1 = 10\text{mA}; \quad I_2 = 10\text{mA};$$

Queremos calcular la corriente  $I_3$ .

- 1) damos una dirección arbitraria a  $I_3$ , por ejemplo yendo hacia el nodo A y escribimos la ecuación en el nodo A:  $I + I_3 = I_1 + I_2$
- 2) una vez que obtuvimos  $I_3$ , si el resultado es positivo la corriente tendrá la dirección asignada; en caso opuesto la corriente tendrá una dirección opuesta a la dada. En nuestro caso tenemos:  $I_3 = -I + I_1 + I_2$

$$I_3 = -24.5 + 10 + 10 = -4.5\text{mA}$$

Entonces, al resultar la corriente negativa, la dirección correcta es la que sale del nodo A.

## II° LEY DE KIRCHHOFF

La segunda ley de Kirchhoff afirma que: en una malla la suma algebraica de los voltajes es igual a cero:

$$\sum U_e + \sum U_r = 0 \quad (2.3)$$

donde  $U_e$  es el voltaje del generador y  $U_r$  es el voltaje en los terminales de las resistencias individuales. Al efectuar la suma algebraica, el signo que asignamos a los voltajes individuales se determina de la siguiente manera: se establece arbitrariamente un sentido positivo de la malla, los voltajes que están en el mismo sentido al elegido se consideran positivos y los que no están en el mismo sentido se consideran negativos.

La segunda ley de Kirchhoff también puede ser expresada de la forma:

$$\sum U_e = \sum RI \quad (2.4)$$

donde  $U_e$  es el voltaje en el generador y  $RI$  es la caída de voltaje en los terminales de las resistencias individuales. Lo que hemos dicho es también válido para los voltajes  $U_e$ : el producto  $RI$  tendrá signo positivo si la corriente  $I$  está en el mismo sentido que la malla; de lo contrario es negativo.

Ahora veremos como se aplica la segunda ley de Kirchhoff al circuito representado en la Fig. 2.2.3

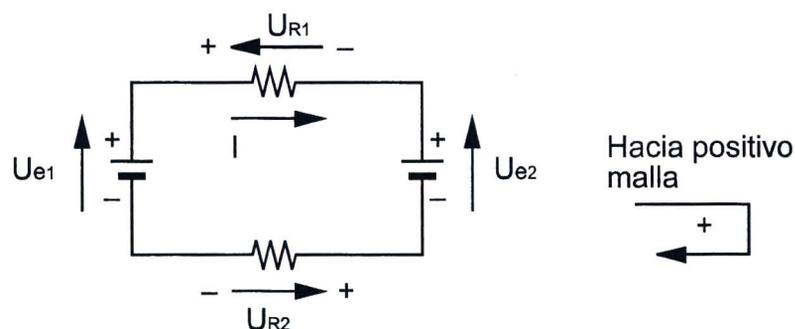


Fig. 2.2.3

Considerando el sentido positivo de la malla (elegido arbitrariamente), tendremos:

$$U_{e1} - U_{R1} - U_{e2} - U_{R2} = 0$$

ó

$$U_{e1} - U_{e2} = R_1 I + R_2 I$$

Esta ley permite calcular, de un modo simple, la corriente o el voltaje en los terminales de un elemento, cuando el circuito esta compuesto por una única malla. Consideremos el circuito de la Fig. 2.2.4 y supongamos que queremos determinar la corriente que circula en la malla.

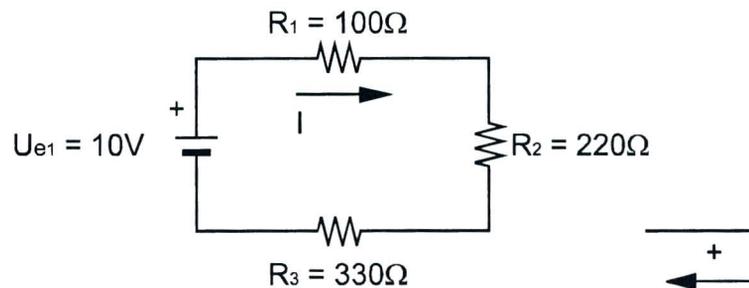


Fig. 2.2.4

Para efectuar este cálculo procedemos de la siguiente manera:

- se asigna un sentido positivo de la malla y una dirección cualquiera de la corriente
- escribimos la ecuación de la malla de acuerdo a (2.4):

$$U_{e1} = R_1 I + R_2 I + R_3 I = I (R_1 + R_2 + R_3)$$

- obtenemos el valor de la corriente:

$$I = \frac{U_{e1}}{R_1 + R_2 + R_3} \quad I = 15.38\text{mA}$$

- si el resultado es positivo la dirección de la corriente corresponde a la asignada, de lo contrario la corriente tendrá dirección opuesta a la elegida. En nuestro ejemplo la dirección de la corriente corresponde a la elegida.

El cálculo de redes complejas, usando la ley de Kirchhoff, implica la resolución de un sistema de ecuaciones independientes de tantas ecuaciones como incógnitas haya. Dos o mas ecuaciones se llaman independientes cuando ninguna de ellas puede ser obtenida ni separadamente de la otra ni por sus combinaciones.

Ejemplo:  $5X + 3Y = 6$       y       $10X + 6Y = 12$

no son ecuaciones independientes porque la segunda se obtiene de la primera multiplicando ambos lados de la ecuación por 2.

Para la búsqueda de las ecuaciones independientes en una red compleja, se usa el siguiente método, de validez general, para I:

- si la red esta compuesta de N nodos, habrá  $N - 1$  ecuaciones en los nodos.

Si L es el número de incógnitas, se deberán escribir  $L - (N - 1)$  ecuaciones independientes para las mallas. Para poder ubicar las mallas independientes, se elimina un ramal perteneciente a la malla considerada cada vez, pasando luego a la siguiente malla.

Ejemplo: supongamos que queremos calcular las corrientes del circuito de la Fig. 2.2.5

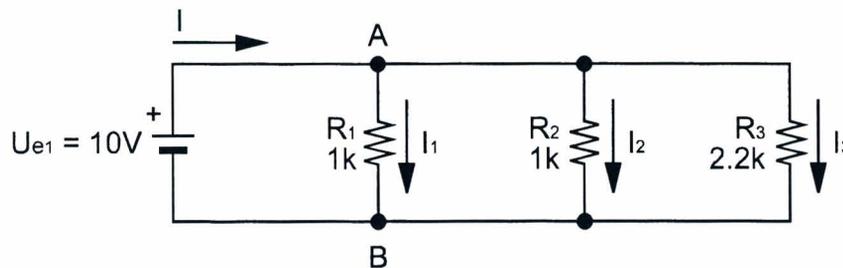


Fig. 2.2.5

Al tener dos nodos, escribiremos  $2 - 1 = 1$  ecuaciones en los nodos y considerando el nodo A tendremos:  $I = I_1 + I_2 + I_3$ .

Ya que hay cuatro incógnitas tendremos  $L - (N - 1)$  ecuaciones en las mallas, es decir,  $4 - (2 - 1) = 3$  ecuaciones relativas a tres mallas independientes:

- malla 1 ( $R_1$   $U_{e1}$ )  $\implies U_{e1} = R_1 I_1$
- malla 2 ( $R_2$   $R_1$ )  $\implies 0 = R_2 I_2 - R_1 I_1$
- malla 3 ( $R_3$   $R_2$ )  $\implies 0 = R_3 I_3 - R_2 I_2$

Tenemos por lo tanto un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas que puede ser resuelto por ejemplo con el método de sustitución.

$$\begin{cases} 10 = 1000 \cdot I_1 \\ 0 = 1000 \cdot I_2 - 1000 \cdot I_1 \\ 0 = 2200 \cdot I_3 - 1000 \cdot I_2 \end{cases} \implies \begin{cases} 1 = 100 \cdot I_1 \\ 0 = 100 \cdot I_2 - 100 \cdot I_1 \\ 0 = 220 \cdot I_3 - 100 \cdot I_2 \end{cases} \implies$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{100} \\ 0 = 100 \cdot I_2 - 1000 \cdot \frac{1}{100} \\ 0 = 220 \cdot I_3 - 100 \cdot I_2 \end{cases} \implies \begin{cases} I_1 = 0.01\text{A} = 10\text{mA} \\ I_2 = \frac{1}{100} = 0.01\text{A} = 10\text{mA} \\ I_3 = \frac{1}{220} = 0.0045\text{A} = 4.5\text{mA} \end{cases}$$



## LECCIÓN 3

### **Resistencias en serie y en paralelo**

#### □ **OBJETIVOS**

Conocer:

- Los conceptos de conexión en serie y conexión en paralelo
- Las caídas de voltaje y las corrientes en los dos tipos de conexiones
- La expresión de la resistencia equivalente para los dos tipos de conexiones

Poder:

- Reconocer, en un circuito eléctrico, las resistencias conectadas en serie y las conectadas en paralelo
- Calcular voltajes y corrientes en un circuito en serie o en paralelo

#### □ **REQUISITOS**

- Circuito eléctrico y direcciones convencionales de voltajes y corrientes; ley de Ohm

#### □ **TEMAS**

- Generalidades
- Resistencias en serie
- Resistencias en paralelo
- Conexión en serie – paralelo
- Divisor de voltaje



**GENERALIDADES**

Un circuito eléctrico esta compuesto generalmente por mas de una resistencia conectada a uno o más generadores de acuerdo a las configuraciones que dependen del objetivo que debe lograrse. Las dos configuraciones mas simples que pueden realizarse con resistores se llaman conexiones en serie y conexiones en paralelo.



## RESISTENCIAS EN SERIE

La conexión en serie se obtiene uniendo consecutivamente todas las resistencias del circuito, como en la Fig. 2.3.1

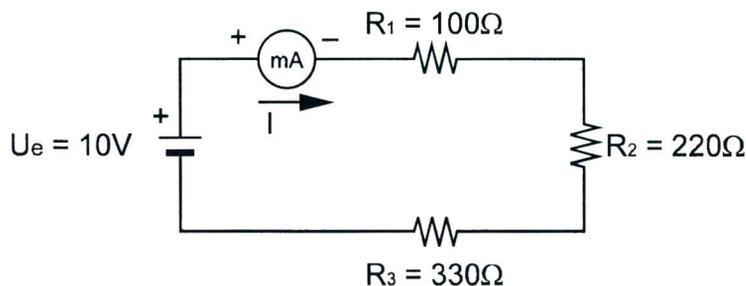


Fig. 2.3.1

La conexión representada presenta las siguientes características:

- todas las resistencias conectadas son atravesadas por la misma intensidad de corriente eléctrica ya que en el circuito no hay derivaciones

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

- aplicando la ley de Ohm a cada resistencia individual, se puede observar que los voltajes  $U_r$  (voltajes en cada resistor) son todos diferentes entre ellos. Supongamos, por ejemplo, que hemos medido la corriente en el circuito de la Fig. 2.3.1, obteniendo el valor  $I = 15.38mA$ .

Los voltajes  $U_r$  serán:

$$U_{R1} = R_1 I = 100 \cdot 0.01538 = 1.538 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 I = 220 \cdot 0.01538 = 3.384 \text{ V}$$

$$U_{R3} = R_3 I = 330 \cdot 0.01538 = 5.075 \text{ V}$$

A partir de estos resultados se deduce que tendremos el voltaje mayor en los terminales de la resistencia mayor, y el voltaje menor en los terminales de la resistencia menor.

- ya que hay un único generador en el circuito, dado el tipo de conexión, el voltaje generado es igual a la suma de las caídas de voltaje en los terminales de las resistencias individuales. El voltaje suministrado por el generador puede ser entonces expresado por la ecuación:

$$U_e = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} \text{ (Segunda ley de Kirchhoff)} \quad (3.1)$$

Es posible verificar esta ecuación usando los valores de voltaje obtenidos en el ejemplo anterior:

$$U_e = 1.538 + 3.384 + 5.075 = 9.997 = 10 \text{ V}$$

- considerando la ecuación (3.1) y aplicando la ley de Ohm a las resistencias individuales obtenemos:

$$U_e = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_e I \quad (3.2)$$

Analizando esta fórmula deducimos que dos o más resistencias conectadas en serie pueden ser reemplazadas por una única resistencia equivalente  $R_e$ , cuyo valor es igual a la suma de las resistencias individuales.

## RESISTENCIAS EN PARALELO

Si conectamos un terminal de cada resistencia en un punto A y los otros terminales en un punto B, obtenemos la así llamada conexión en paralelo (Fig. 2.3.2).

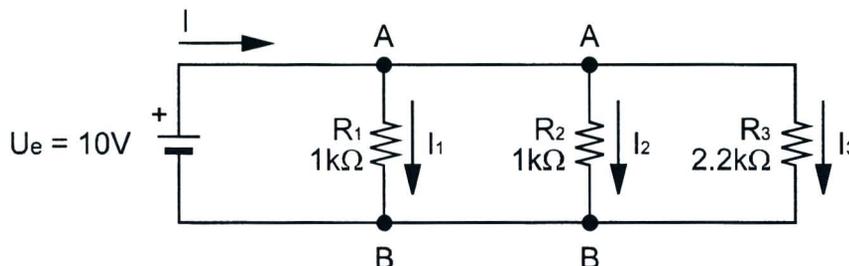


Fig. 2.3.2

La conexión representada presenta las siguientes características:

- en los terminales de cada resistencia se halla el mismo valor de voltaje ya que todos los puntos A están al mismo potencial, y lo mismo para los puntos B.

$$U_{R1} = U_{R2} = U_{R3} = U_e$$

- aplicando la ley de Ohm a cada resistencia y analizando los resultados, notamos que las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  son diferentes entre ellas; la mayor corriente circula en la menor resistencia y la menor corriente en la mayor resistencia.

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{10}{1000} = 10\text{mA}$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{10}{1000} = 10\text{mA}$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{10}{2200} = 4.545\text{mA}$$

- la corriente  $I$  es igual a la suma de las corrientes individuales:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3.3)$$

De hecho, en el circuito hay un único generador y la corriente que emite, al llegar a la derivación A, se divide en partes dependiendo del valor de la resistencia individual. La ecuación (3.3) puede ser también verificada aplicando la primera ley de Kirchhoff al nodo A.

- considerando la ecuación (3.3) y aplicando la ley de Ohm a cada resistencia obtenemos:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U_{R1}}{R_1} + \frac{U_{R2}}{R_2} + \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{U_e}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{U_e}{R_e} \quad (3.4)$$

A partir de esta ecuación deducimos que es posible reemplazar las resistencias en paralelo por una resistencia equivalente  $R_e$  cuyo valor se calcula con la fórmula:

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (3.5)$$

y reemplazando con los valores obtenemos:

$$R_e = 0.407 \text{ k}\Omega$$

Por lo tanto deducimos que el valor de la resistencia equivalente de una conexión en paralelo es menor que el valor de la menor resistencia de la conexión.

En el caso particular de una conexión entre dos resistores la ecuación (3.5) queda:

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

En este caso la resistencia equivalente es igual al cociente entre el producto y la suma de las resistencias que componen el circuito en paralelo.

<b>CONEXIÓN EN SERIE - PARALELO</b>
-------------------------------------

Si la red esta compuesta por resistencias conectadas en serie y en paralelo, la resistencia equivalente se determina de la siguiente manera:

- se localizan las conexiones en serie y las conexiones en paralelo presentes en el circuito;
- se reemplaza el valor de la respectiva resistencia equivalente en cada tipo de conexión
- se repite el procedimiento hasta obtener una resistencia equivalente de todo el circuito

Aclaremos el procedimiento con un ejemplo:

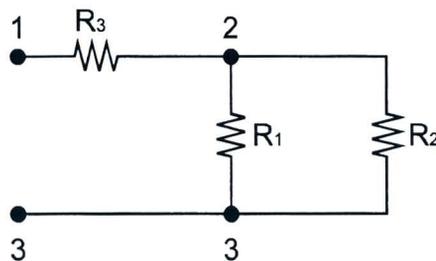


Fig. 2.3.3

- calculemos la resistencia equivalente a las resistencias en paralelo R1 R2:

$$R_{12} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

- reemplacemos las resistencias R1 y R2 por la resistencia R12 y dibujemos nuevamente el circuito (Fig. 2.3.4)

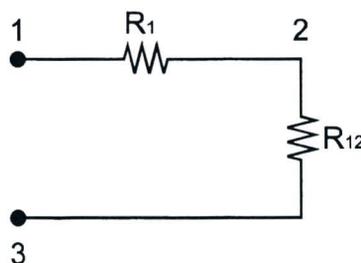


Fig. 2.3.4

- la resistencia equivalente total del circuito será igual a la suma de las resistencias  $R_1$  y  $R_{12}$ .

$$R_e = R_1 + R_{12}$$

El circuito equivalente es representado en la Fig. 2.3.5

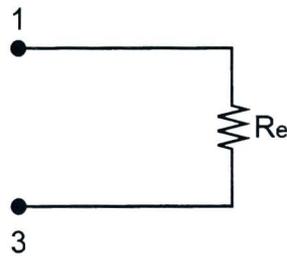


Fig. 2.3.5

Es evidente que para efectuar el cálculo de los voltajes y las corrientes, en el caso de circuitos en serie – paralelo, se pueden usar los circuitos reducidos previamente examinados.

## DIVISOR DE VOLTAJE

El divisor de voltaje, en su mas simple configuración, es un circuito compuesto por dos resistores en serie, en cuyos terminales cae una parte del voltaje de alimentación, (Fig. 2.3.6).

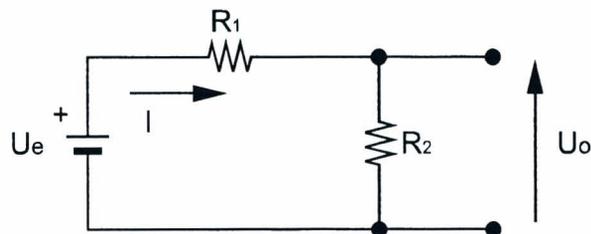


Fig. 2.3.6

Un divisor de voltaje puede tener una operación sin carga o bajo carga; en la operación sin carga el voltaje de salida  $U_{o(\text{vacío})}$  se obtiene aplicando la ley de Ohm en el resistor  $R_2$ :

la corriente  $I$  del circuito se expresa por la ecuación

$$I = \frac{U_e}{R_1 + R_2} \quad (3.6)$$

El voltaje  $U_{o(\text{sin carga})}$  resulta  $U_o = R_2 \cdot I$

Y remplazando a  $I$  en la ecuación (3.6) obtenemos que:

$$U_{o(\text{vacío})} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_e \quad (3.7)$$

Si conectamos una carga de resistencia variable (Fig. 2.3.7) al divisor de voltaje observamos que la ecuación (3.7) deja de ser válida.

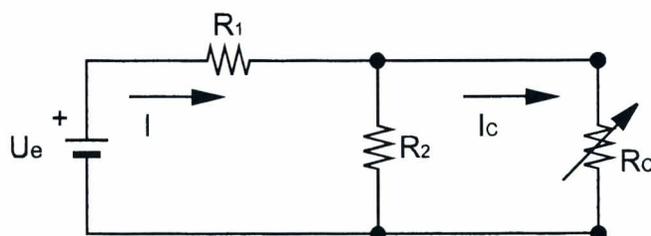


Fig. 2.3.7

De hecho, para los valores intermedios de la carga, el voltaje toma el valor, calculable con la ley de Ohm y expresado por la ecuación:

$$U_o(\text{carga}) = U_e \frac{R_{2C}}{R_1 + R_{2C}}$$

donde  $R_{2C}$  es la resistencia equivalente a las resistencias en paralelo  $R_2$  y  $R_c$

$$R_{2C} = \frac{R_2 \cdot R_c}{R_2 + R_c}$$

Efectuando las mediciones del voltaje de salida  $U_o$ , para cada valor de resistencia, y de la corriente de carga  $I_c$ , obtenemos la curva característica de voltaje – corriente de carga, representada en la Fig. 2.3.8

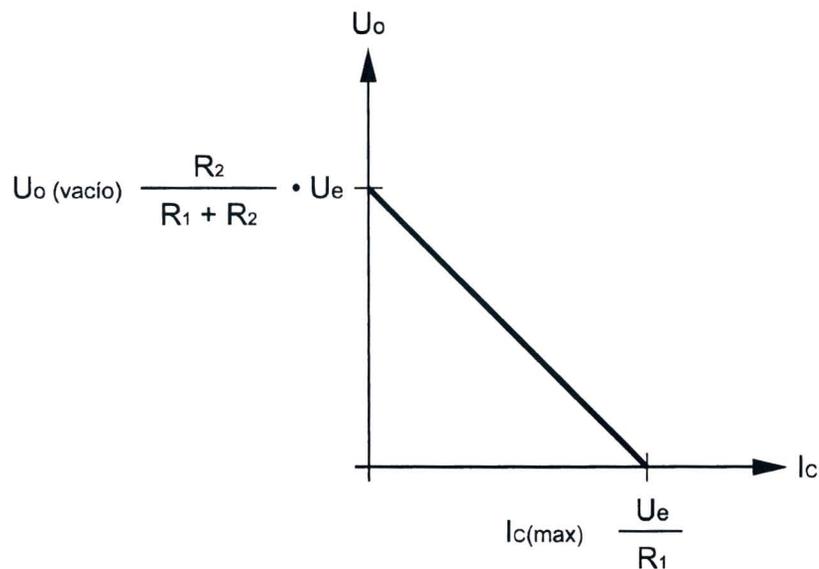


Fig. 2.3.8

Se puede deducir del diagrama que el voltaje de salida será máximo en la operación sin carga del divisor mientras que se anula cuando el divisor se cierra en un cortocircuito.

## LECCIÓN 4

### **Teorema de la superposición de los efectos**

#### □ **OBJETIVOS**

Conocer:

- El concepto de linealidad
- El teorema de la superposición de los efectos

Poder:

- Subdividir el circuito principal en circuitos simples
- Calcular las corrientes o los voltajes en un ramal de una red
- Aplicar el teorema de la superposición de los efectos

#### □ **REQUISITOS**

- Ley de Ohm, resistencias en serie y en paralelo

#### □ **TEMAS**

- Teorema de la superposición de los efectos



<b>TEOREMA DE LA SUPERPOSICIÓN DE LOS EFECTOS</b>
---

El teorema de la superposición de los efectos puede ser solamente aplicado a sistemas físicos que tengan un comportamiento lineal. Un sistema físico tiene un comportamiento lineal cuando existe una relación de proporcionalidad entre causa y efecto.

Consideremos, por ejemplo, una carretilla empujada por una persona: existe linealidad al duplicar el empuje ( causa) ya que también se duplica la distancia cubierta por la carretilla (efecto). De la misma manera un circuito eléctrico se considera lineal cuando al duplicar el voltaje ( causa), se duplica la corriente (efecto). El teorema puede ser enunciado de la siguiente manera: si en una red eléctrica actúan dos o mas generadores al mismo tiempo, se puede calcular la corriente en un ramal, o el voltaje en sus terminales, sumando algebraicamente las corrientes, o los voltajes, producidos separadamente por cada generador. Este teorema puede ser aclarado con un ejemplo. Consideremos el circuito de la Fig. 2.4.1. Determinemos la corriente  $I_3$ .

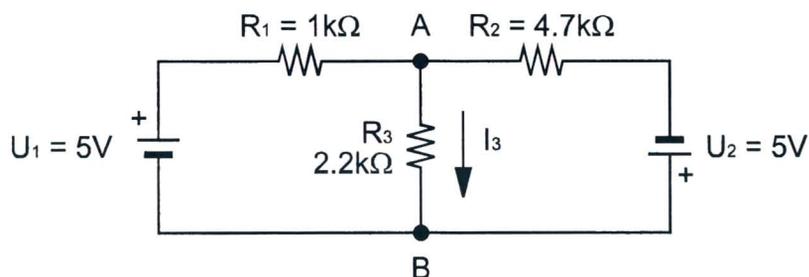


Fig. 2.4.1

si el circuito bajo estudio se divide en dos o mas circuitos simples que tengan cada uno un solo generador, poniendo en cortocircuito los otros generadores de voltaje y desconectando, si existen, los generadores de corriente, tendremos de esta manera:

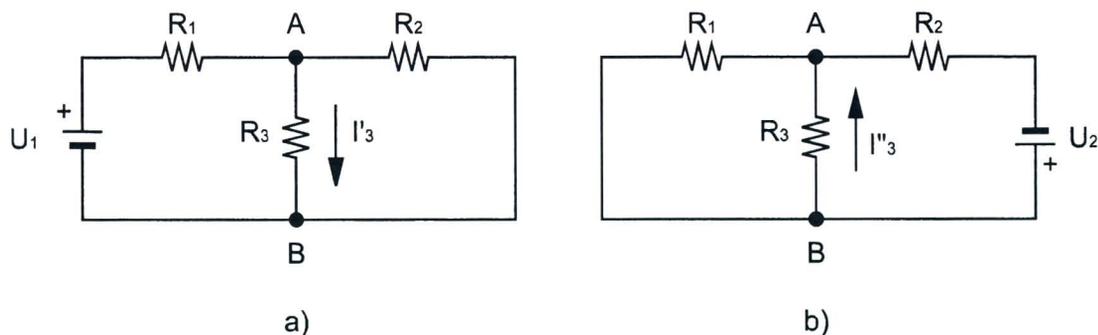


Fig. 2.4.2

se calculan las corrientes en los circuitos simples:

- Circuito a) Fig. 2.4.2

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1.498\text{k}\Omega$$

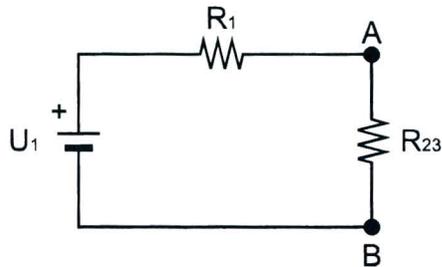


Fig. 2.4.3

$$R'e = R_1 + R_{23} = 2.498\text{k}\Omega$$

$$I' = \frac{U_1}{R'e} = 2\text{mA}$$

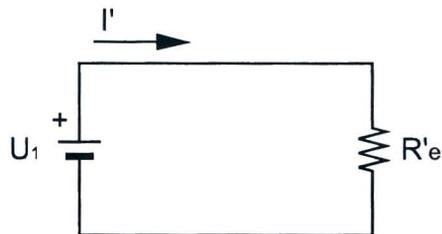


Fig. 2.4.4

$$U'_{AB} = R_{23} I' = 2.996\text{V}$$

$$I'_3 = \frac{U'_{AB}}{R_3} = 1.36\text{mA}$$

- Circuito b) Fig. 2.4.2

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 0.687\text{k}\Omega$$

$$R''_e = R_2 + R_{13} = 5.387\text{k}\Omega$$

$$I'' = \frac{U_2}{R''_e} = 0.93\text{mA}$$

$$U''_{AB} = R_{13}I'' = 0.639\text{V}$$

$$I''_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = 0.29\text{mA}$$

- se efectúa la suma algebraica de las dos corrientes ( se suman si están en el mismo sentido, en caso contrario se restan y la dirección coincide con la de la mayor corriente):

$$I_3 = I'_3 - I''_3 = 1.36 - 0.29 = 1.07\text{mA}$$

La dirección en nuestro caso coincide con la de  $I'_3$ .



## LECCIÓN 5

### Teoremas de Thevenin y Norton

#### □ OBJETIVOS

Conocer:

- el enunciado de los teoremas de Thevenin y Norton
- el estudio de la red efectuado al aplicar el teorema de Thevenin a un circuito en serie equivalente
- el estudio de la red efectuado al aplicar el teorema de Norton a un circuito en paralelo equivalente
- el concepto de generador equivalente y resistencia equivalente

Poder:

- dibujar los circuitos para calcular los generadores equivalentes y la resistencia equivalente aplicando los dos teoremas
- resolver una red simple con los teoremas de Thevenin y Norton

#### □ REQUISITOS

- Generador de voltaje, generador de corriente, resistencia equivalente y ley de Ohm.

#### □ TEMAS

- Teorema de Thevenin
- Teorema de Norton



## TEOREMA DE THEVENIN

El teorema de Thevenin permite determinar la corriente en un ramal, o el voltaje en sus terminales, de una red compleja de comportamiento lineal. Puede ser enunciado de la siguiente manera: “la corriente que circula en un ramal, o el voltaje en sus terminales, se calcula reemplazando la red dada por un circuito en serie, compuesto por un generador de voltaje equivalente  $U_e$ , una resistencia equivalente  $R_e$  y la resistencia del ramal considerado”.

Veamos ahora que queremos decir con voltaje equivalente  $U_e$  y resistencia equivalente  $R_e$ :

- el voltaje equivalente  $U_e$  es el que aparece en los dos terminales de la red obtenida al eliminar el ramal considerado.
- la resistencia equivalente  $R_e$  es la que presenta la red, vista desde los puntos de donde el ramal ha sido desconectado, cuando todos los generadores de voltaje son puestos en cortocircuito y los generadores de corriente, si existen, han sido desconectados.

Este teorema puede ser esclarecido con un ejemplo:

Supongamos que queremos determinar la corriente  $I_3$  de la red de la Fig. 2.5.1

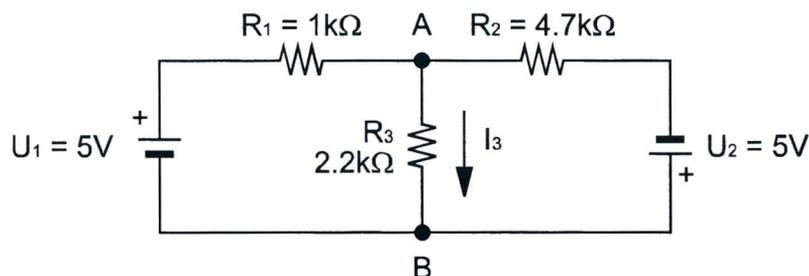


Fig. 2.5.1

- desconectamos la resistencia  $R_3$  y calculamos el voltaje equivalente  $U_e$  entre los puntos A – B, (Fig. 2.5.2)

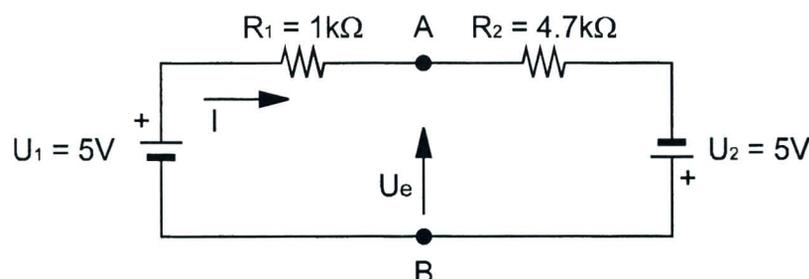


Fig. 2.5.2

La corriente  $I$  del circuito se obtiene por la ecuación:

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = 1.75\text{mA}$$

El voltaje equivalente será igual a:

$$U_e = U_1 - R_1 I = 3.25\text{V}$$

- calculemos la resistencia equivalente  $R_e$  vista desde los puntos A – B poniendo en cortocircuito los generadores de voltaje, Fig. 2.5.3

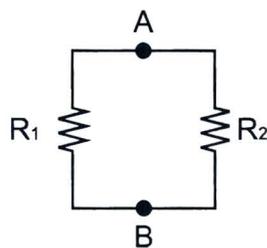


Fig. 2.5.3

Esta resistencia no es más que la resistencia en paralelo entre  $R_1$  y  $R_2$ , por ende:

$$R_e = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2} = 0.824\text{k}\Omega$$

- el circuito en serie de Thevenin está representado en la Fig. 2.5.4

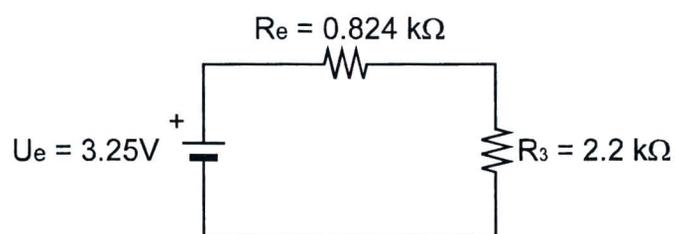


Fig. 2.5.4

La corriente que circula a través de la resistencia  $R_3$  es igual a:

$$I_3 = \frac{U_e}{R_e + R_3} = 1.075\text{mA}$$

## TEOREMA DE NORTON

Con el teorema de Norton también se puede transformar una red compleja en un circuito simple, pero de manera diferente a la estudiada con el teorema de Thevenin: en este caso el circuito simplificado es un circuito en paralelo. Este teorema puede ser entonces enunciado de la siguiente manera: “ la corriente que circula en un ramal, o el voltaje en sus terminales, puede calcularse reemplazando la red dada por un circuito en paralelo equivalente, que incluye el ramal considerado, un generador ideal de corriente  $I_{cc}$  y una resistencia equivalente  $R_e$ ”.

El valor de la corriente  $I_{cc}$  coincide con el valor de la corriente que circula en el conductor que cierra en cortocircuito los dos terminales de la red obtenida al separar el ramal considerado.

La resistencia equivalente  $R_e$  es la que presenta la red, vista desde los puntos de donde ha sido separado el ramal, cuando todos los generadores de voltaje son puestos en cortocircuito y los generadores de corriente, si existen, son desconectados.

Este teorema puede ser esclarecido con un ejemplo: queremos determinar la corriente  $I_3$  de la red representada en la Fig. 2.5.5

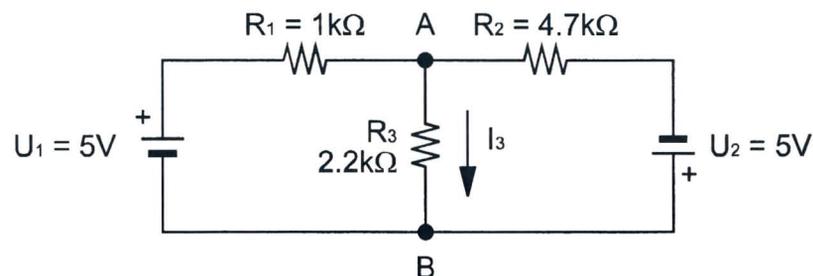


Fig. 2.5.5

- desconectamos la resistencia  $R_3$  y la reemplazamos por un conductor que cierre en cortocircuito los terminales A – B (Fig. 2.5.6).

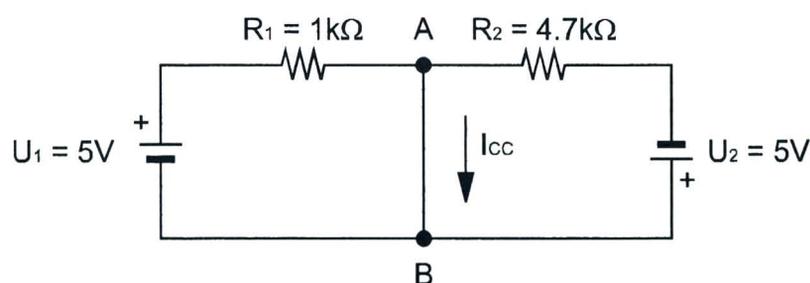


Fig. 2.5.6

- aplicando el principio de la superposición de los efectos obtenemos:

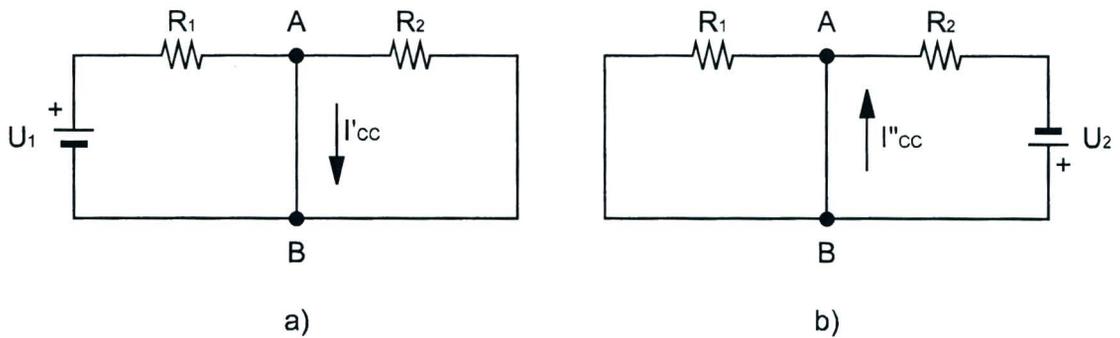


Fig. 2.5.7

$$I'_{cc} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{5}{1000} = 5\text{mA}$$

$$I''_{cc} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{5}{4700} = 1.064\text{mA}$$

$$I_{cc} = I'_{cc} - I''_{cc} = 5 - 1.064 = 3.936\text{mA}$$

- la resistencia  $R_e$  es la que se ve desde los puntos A – B cuando  $R_3$  se desconecta y los generadores de voltaje son puestos en cortocircuito (Fig. 2.5.8).

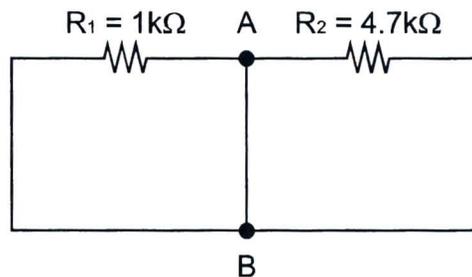


Fig. 2.5.8

Analizando el circuito se deduce que  $R_e$  es el equivalente paralelo de  $R_1$  y  $R_2$ .

$$R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 0.824\text{k}\Omega$$

- el circuito de Norton queda (Fig. 2.5.9)

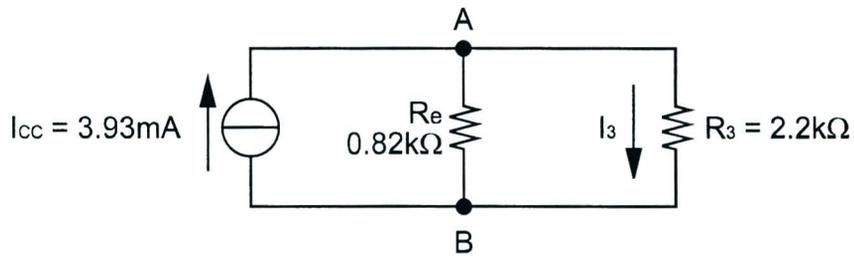


Fig. 2.5.9

Ahora se calcula la corriente  $I_3$ , luego de haber determinado el voltaje  $U_{AB}$ :

$$U_{AB} = I_{cc} \frac{R_e \cdot R_3}{R_e + R_3} = 2.6\text{V}$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{2.6}{2200} = 1.07\text{mA}$$



## LECCIÓN 6

### Teorema de Millman

#### □ OBJETIVOS

Conocer:

- El enunciado del teorema de Millman

Poder:

- Calcular el voltaje entre dos nodos de una red aplicando el teorema de Millman

#### □ REQUISITOS

- Resistencia equivalente y ley de Ohm.

#### □ TEMAS

- Teorema de Millman



## TEOREMA DE MILLMAN

En los casos de redes complejas de comportamiento lineal que estén compuestas por dos únicos nodos, es decir, que estén formadas por más de un ramal en paralelo, se puede calcular el voltaje en los terminales de los ramales (y por lo tanto también la corriente) aplicando el teorema de Millman.

Consideremos el circuito de la Fig. 2.6.1

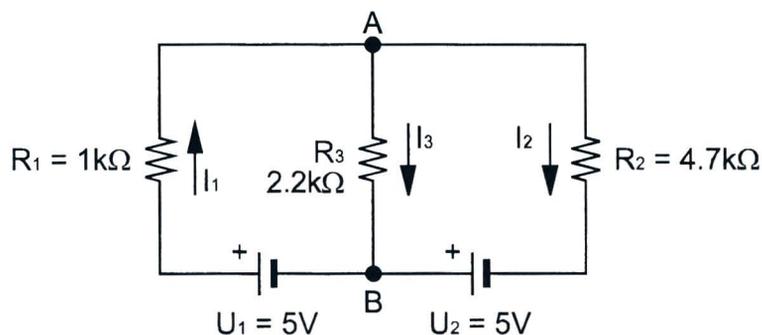


Fig. 2.6.1

El teorema de Millman puede enunciarse de la siguiente manera:

El voltaje existente entre dos nodos o, lo que es lo mismo, el que aparece en los terminales de los ramales simples, puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$U_{AB} = \frac{\sum \frac{U_i}{R_i}}{\sum \frac{1}{R_i}}$$

donde  $U_i$  y  $R_i$  representan respectivamente el voltaje del generador y la resistencia de cada ramal simple. El voltaje  $U_i$  se tomará como positivo si esta en el mismo sentido del voltaje  $U_{AB}$  (es decir, si se dirige desde B hacia A), caso contrario será tomado como negativo.

En el caso de que no haya generadores en el ramal, el voltaje  $U_i$  de ese ramal será tomado como igual a cero. En nuestro ejemplo el teorema de Millman se expresa por la ecuación:

$$U_{AB} = \frac{\frac{U_1}{R_1} - \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

y reemplazando con los valores  $U_{AB} = 2.36V$

Una vez calculado el voltaje en los terminales de cada ramal es fácil calcular la corriente aplicando la ley de Ohm:

$$I_1 = \frac{U_1 - U_{AB}}{R_1} = 2.64\text{mA}, \quad I_2 = \frac{U_2 - U_{AB}}{R_2} = 1.56\text{mA},$$
$$I_3 = \frac{U_3 - U_{AB}}{R_3} = 1.07\text{mA}$$

## APÉNDICE

**Preguntas de verificación acerca de la Guía Práctica**

**Respuestas a la simulación de fallas**

**Especificaciones técnicas**



**PREGUNTAS DE VERIFICACIÓN****UNIDAD 1**

- A) Dos resistores en serie son atravesados por la misma corriente cuando
- 1) Tienen el mismo valor de resistencia
  - 2) Tienen distinto valor de resistencia
  - 3) Siempre
- B) La resistencia equivalente de dos o mas resistores en serie es:
- 1) Mayor que la menor de las resistencias
  - 2) Menor que la mayor de las resistencias
- C) En un circuito con cuatro resistores conectados en serie,  $U_{r1} = 10V$ ,  $U_{r2} = 12V$ ,  $U_{r3} = 8V$ ,  $U_{r4} = 2.5V$ , ¿cuál es el valor del voltaje aplicado?
- 1) 12 V
  - 2) 32.5 V
  - 3) 2.5 V

**UNIDAD 2**

A) Dos resistores en paralelo son atravesados por la misma corriente cuando:

- 1) Tienen el mismo valor de resistencia
- 2) Tienen distinto valor de resistencia
- 3) Siempre

B) La resistencia equivalente de dos o más resistores en paralelo es:

- 1) Mayor que la menor de las resistencias
- 2) Menor que la mayor de las resistencias

C) Si en un nodo las corrientes de entrada son  $I_1$  e  $I_2$  y las corrientes de salida son  $I_3$  e  $I_4$ , ¿cual de las siguientes ecuaciones es la correcta?

- 1)  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$
- 2)  $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$
- 3)  $I_1 + I_2 = I_3 - I_4$

**UNIDAD 3**

A) Con S1 y S2 cerrados, ¿cual es aproximadamente el valor de la caída de voltaje en R3 si el voltaje de entrada es de 10 V?

- 1) 3 V
- 2) 7 V
- 3) 10 V

C) Con S1 y S2 cerrados y  $R3 = 1\text{k}\Omega$ , ¿cuál es el valor de la resistencia total del circuito?

- 1) 0.5 kOhmios
- 2) 1.5 kOhmios
- 3) 3 kOhmios

**UNIDAD 4**

A) El estudio de un circuito que contiene dos generadores, aplicando el teorema de la superposición de los efectos, puede realizarse:

- 1) Considerando dos circuitos simples sin generadores
- 2) Considerando dos circuitos simples que contengan cada uno un solo generador
- 3) Sin cambiar el circuito.

B) Si  $R1 = R3 = 1k\Omega$ , ¿cuál es aproximadamente el valor de la corriente  $I3$ ?

- |          |           |
|----------|-----------|
| 1) 1.6mA | 3) 3.2mA  |
| 2) 0mA   | 4) -1.6mA |

**UNIDAD 5**

A) Al aplicar el teorema de Thevenin, los generadores de corriente, si existen, deben:

- 1) Ponerse en cortocircuito
- 2) Desconectarse

B) La determinación de la resistencia equivalente se efectúa:

- 1) Poniendo en cortocircuito los generadores de voltaje
- 2) Abriendo los generadores de voltaje
- 3) Abriendo los generadores de corriente

**UNIDAD 6**

A) Anular el generador para calcular la resistencia equivalente significa:

- 1) Poner en cortocircuito los generadores de voltaje
- 2) Poner en cortocircuito los generadores de corriente
- 3) Abrir los generadores de voltaje

B) ¿Qué efecto tendría el aumento de  $R_3$  sobre la resistencia equivalente?

- 1) La resistencia disminuiría
- 2) La resistencia aumentaría
- 3) No habría efectos

**UNIDAD 7**

A) El teorema de Millman se aplica:

- 1) A todas las redes
- 2) A las redes lineales con dos únicos nodos
- 3) A las redes no lineales con dos únicos nodos

B) En el circuito 7 el teorema de Millman se expresa por la ecuación:

- 1)  $U_{AB} = [U_1/R_1 - U_2/R_2]/[1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3]$
- 2)  $U_{AB} = [U_1/R_1 + U_2/R_2]/[1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3]$

**UNIDAD 8**

REALIZAR UNIDAD 7

**UNIDAD 9**

A) Si se intercambia la posición de los resistores R1 y R2, ¿variaría la caída de voltaje en cada uno de ellos?

1) Sí

2) No

C) Al disminuir el valor de R2, el voltaje sin carga del divisor:

1) Aumenta

2) Disminuye

3) No cambia

**RESPUESTAS CORRECTAS A LA PREGUNTAS DE VERIFICACIÓN**

<b>UNIDAD</b>	<b>PREGUNTA</b>	<b>RESPUESTA</b>
1	A	3
1	B	1
1	C	2
2	A	1
2	B	3
2	C	2
3	A	1
3	B	2
4	A	2
4	B	2
5	A	1
5	B	1
6	A	1
6	B	3
7	A	2
7	B	1
8	VER UNIDAD 7	VER UNIDAD 7
9	A	2
9	B	2

**RESPUESTAS A LA SIMULACIÓN DE FALLAS****UNIDAD 1**

- 1) R2 en cortocircuito
- 2) S1 desconectado
- 3) R1 en cortocircuito
- 4) R1 desconectado
- 5) Se ha agregado un componente a R2

**UNIDAD 2**

- 1) El circuito no esta alimentado
- 2) R1 desconectado
- 3) R2 en cortocircuito
- 4) R1 con falla (en pérdida)
- 5) Se ha agregado un componente a R3

**UNIDAD 3**

- 1) R1 desconectado
- 2) R1 en cortocircuito
- 3) S1 en cortocircuito
- 4) R3 desconectado

**UNIDAD 4**

- 1) R2 con falla (en pérdida)
- 2) Generador +5V desconectado
- 3) R1 en cortocircuito
- 4) R2 en cortocircuito
- 5) R3 con falla (en pérdida)

**UNIDAD 5**

- 1) R1 en cortocircuito
- 2) R3 en cortocircuito
- 3) Se ha agregado un componente a R3
- 4) El circuito no esta alimentado

**UNIDAD 6**

- 1) El circuito no esta alimentado
- 2) Se ha agregado una resistencia a R1
- 3) R1 desconectado
- 4) R3 en cortocircuito

**UNIDAD 7**

- 1) Se ha agregado un componente a R2
- 2) R1 con falla (en pérdida)
- 3) R2 desconectado
- 4) R3 desconectado

**UNIDAD 8**

VER UNIDAD 7

**UNIDAD 9**

- 1) +V desconectado
- 2) R1 desconectado
- 3) R3 en cortocircuito
- 4) R1 con falla (en pérdida)

**RESPUESTAS CORRECTAS A LA SIMULACIÓN DE FALLAS**

<b>UNIDAD</b>	<b>RESPUESTA</b>
1	3
2	4
3	1
4	1
5	2
6	1
7	3
8	VER UNIDAD 7
9	4

DATA SHEET







## **BIBLIOGRAFÍA**

- |                        |  |
|------------------------|--|
| L. OLIVIERI/E. RAVELLI | <b>ELETTROTECNIA</b><br>Cedam  |
| G. BOBBIO/S. SAMMARCO  | <b>ELETTROTECNIA GENERALE</b><br>Petrini                               |
| T. L. FLOYD            | <b>CORSO DI ELETTRONICA</b><br>Jackson                                 |
| G. RICCIARELLI         | <b>ELETTRONICA E LABORATORIO VOL.3</b><br>Cupido, Potenza Picena, 1991 |

## **LIBROS DE DATOS**

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Piher Internationa Italia | <b>Eicher</b> - 1987 |
|---------------------------|----------------------|



© DE LORENZO  
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

DE LORENZO S.R.L.  
V. le Romagna, 20 - 20089 Rozzano (MI)  
Tel. ++39-2-8254551/2/3 – Telefax 8255181 - E-mail: DE.LORENZO@GALACTICA.IT





**DE LORENZO**

---

Viale Romagna, 20 - 20089 Rozzano (MI) Italy • Tel. +39 02 8254551 - Fax +39 02 8255181  
E-mail: [delorenzo@delorenzo.it](mailto:delorenzo@delorenzo.it)

[www.delorenzogroup.com](http://www.delorenzogroup.com)