Universidad Nacional del Centro del Perú

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Material de Enseñanza

094C Protección de Sistemas de Potencia

Protección de Barras

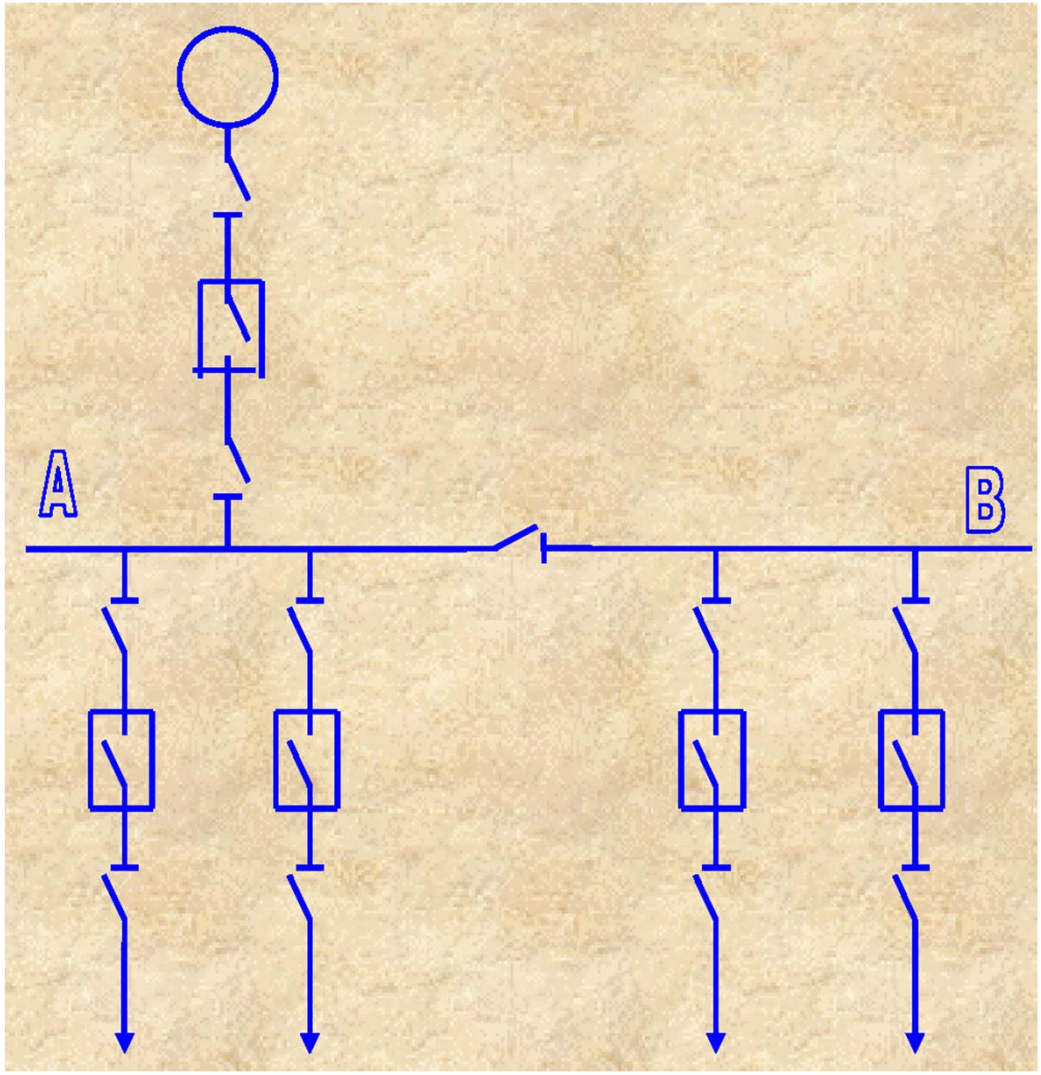
© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Configuraciones de las Barras en las Subestaciones

Configuraciones de las Barras

Barra Simple

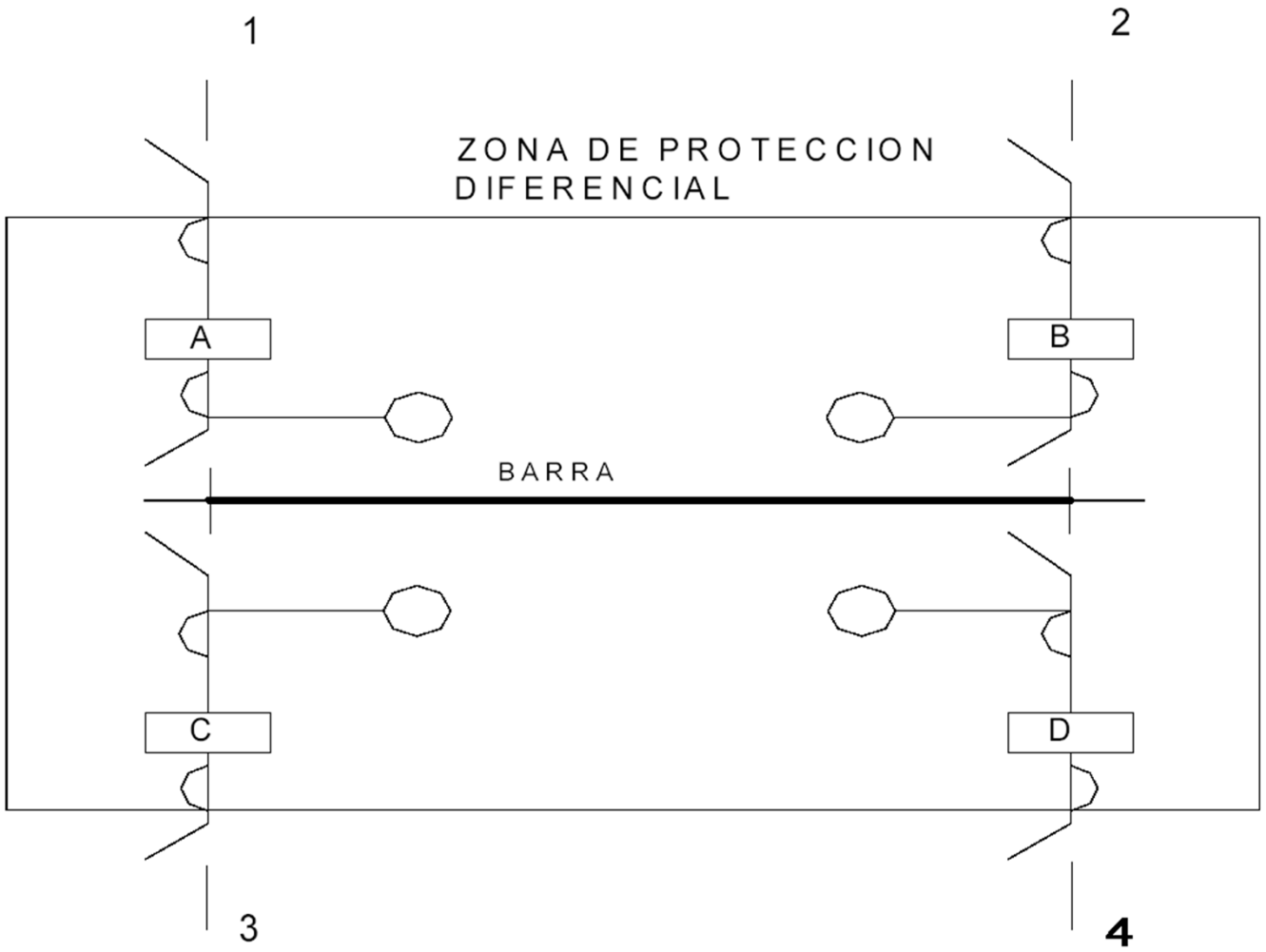
- Adecuada para instalaciones pequeñas.
- Para realizar trabajos de mantenimiento tiene que salir de servicio la fuente de alimentación.
- Utilizando seccionadores de barras se puede flexibilizar las labores de mantenimiento de una parte de la instalación.



Configuraciones de las Barras

Barra Simple

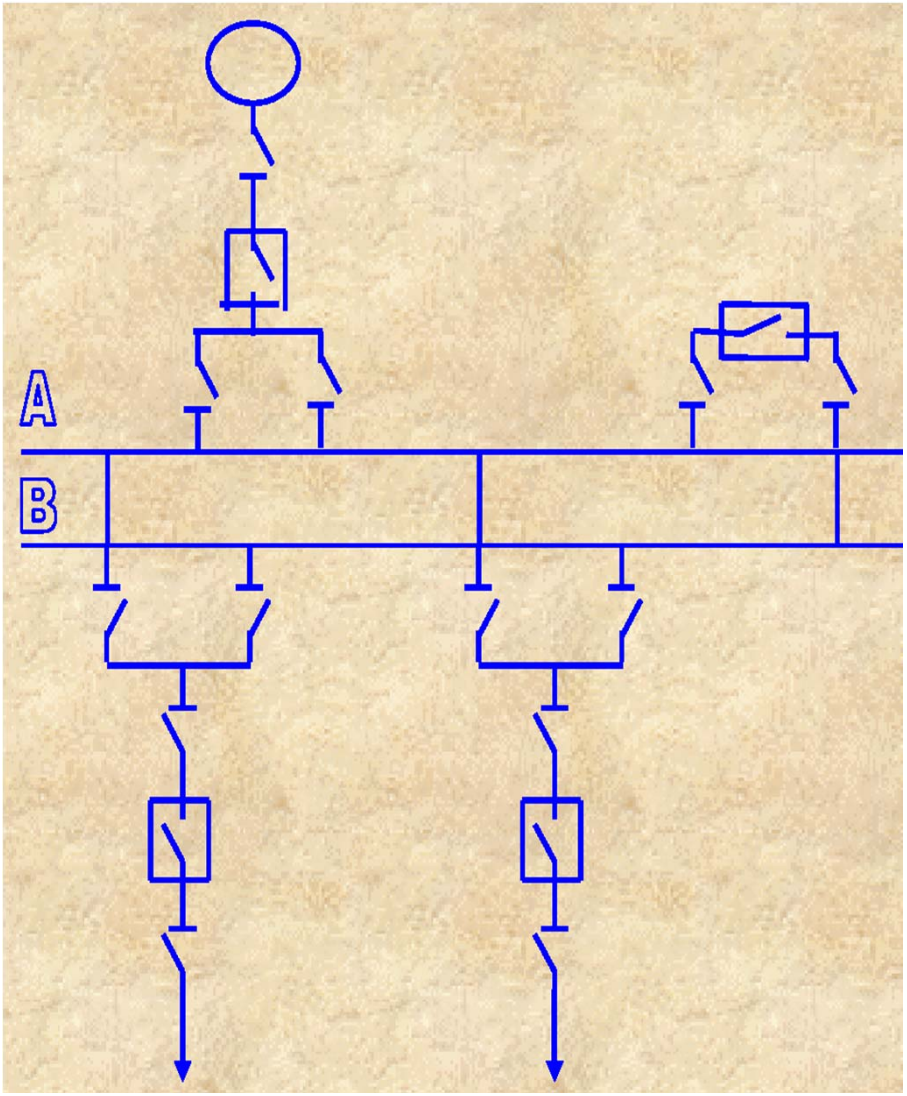
Se tiene muy buena facilidad para la ampliación de la instalación.



Configuraciones de las Barras

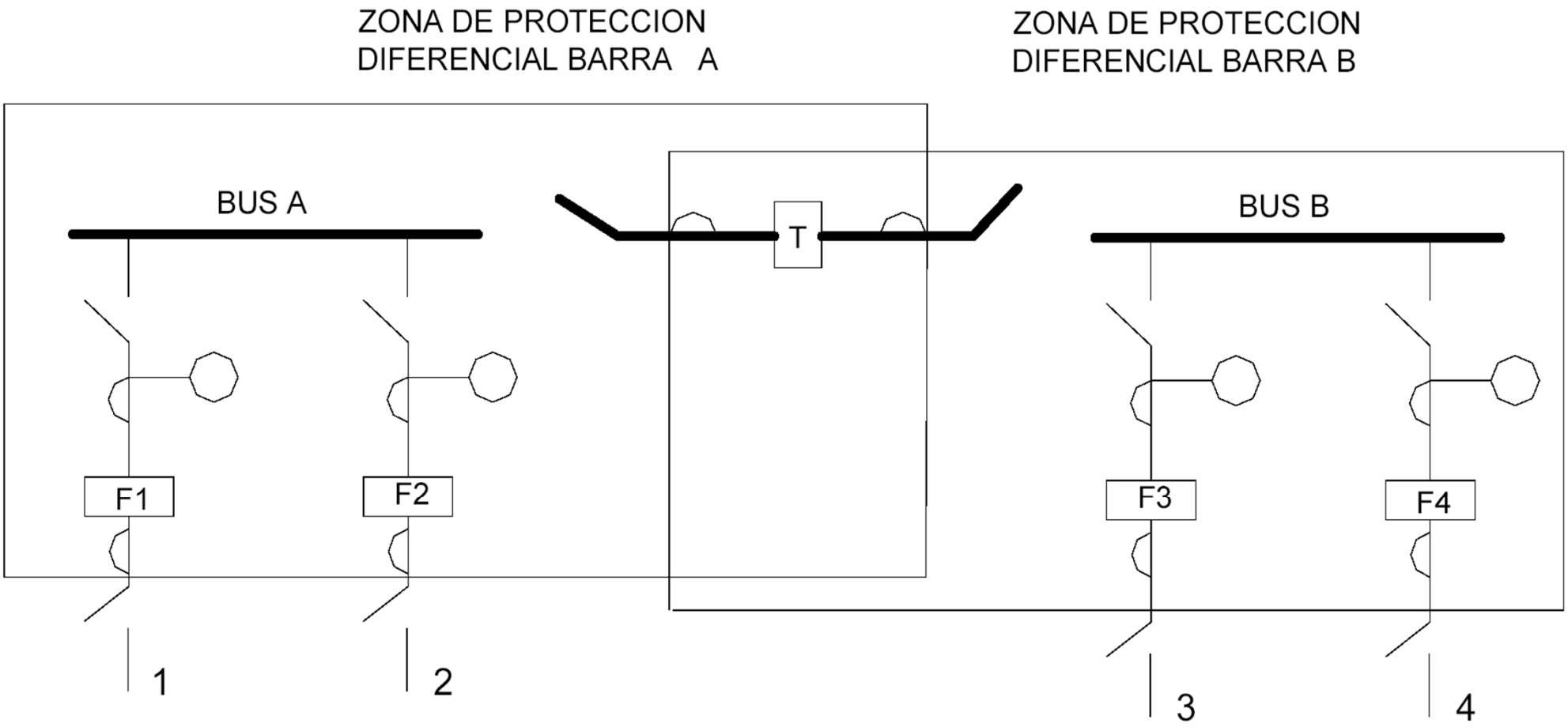
Barra Doble

- Adecuada para grandes instalaciones.
- Las labores de mantenimiento se pueden realizar sin interrumpir la fuente de alimentación.
- La subestación puede operar con barras separadas.
- Tiene buena flexibilidad para el mantenimiento.
- Buena facilidad para la ampliación de la instalación.



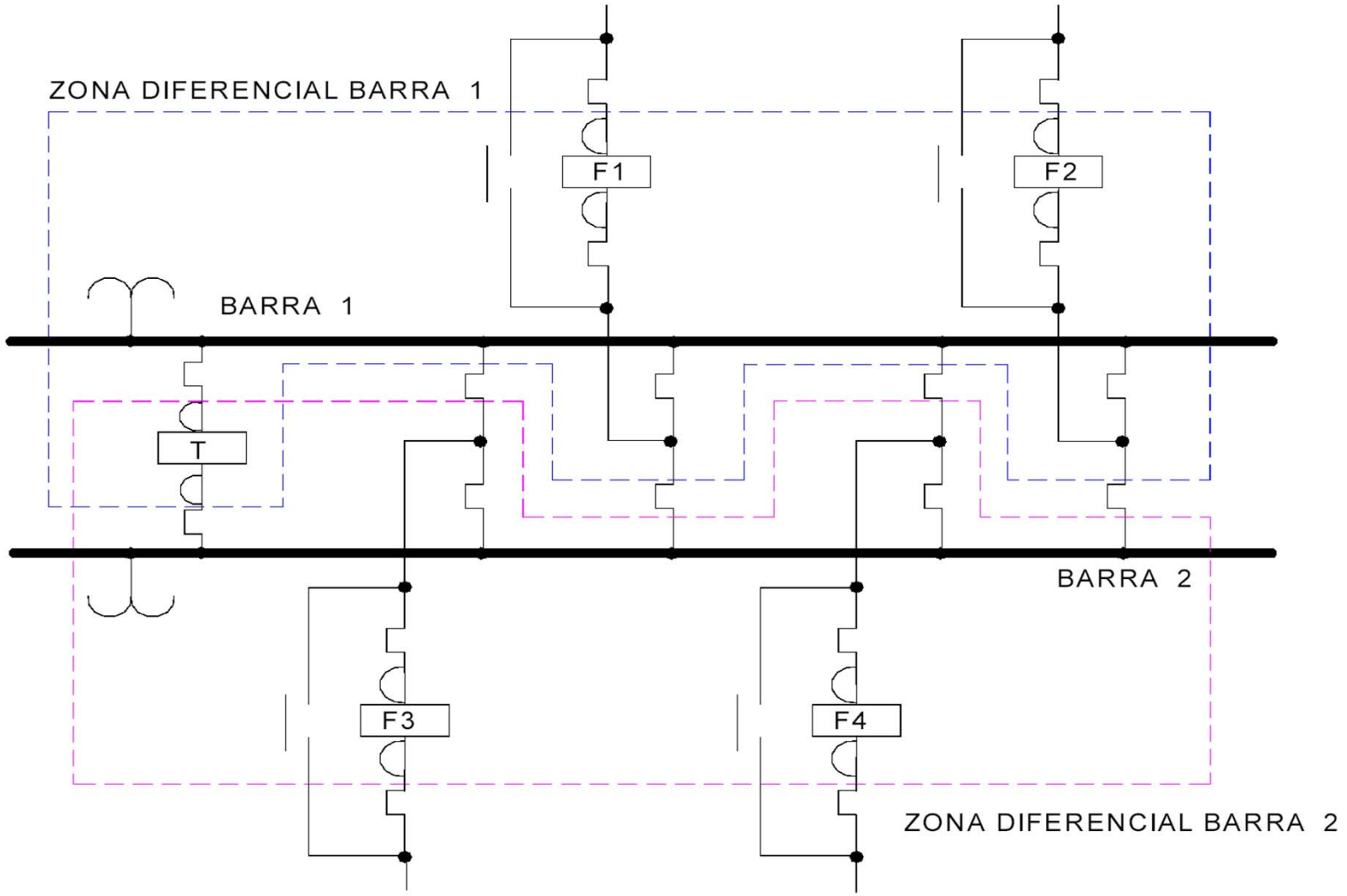
Configuraciones de las Barras

Barra doble con acoplamiento



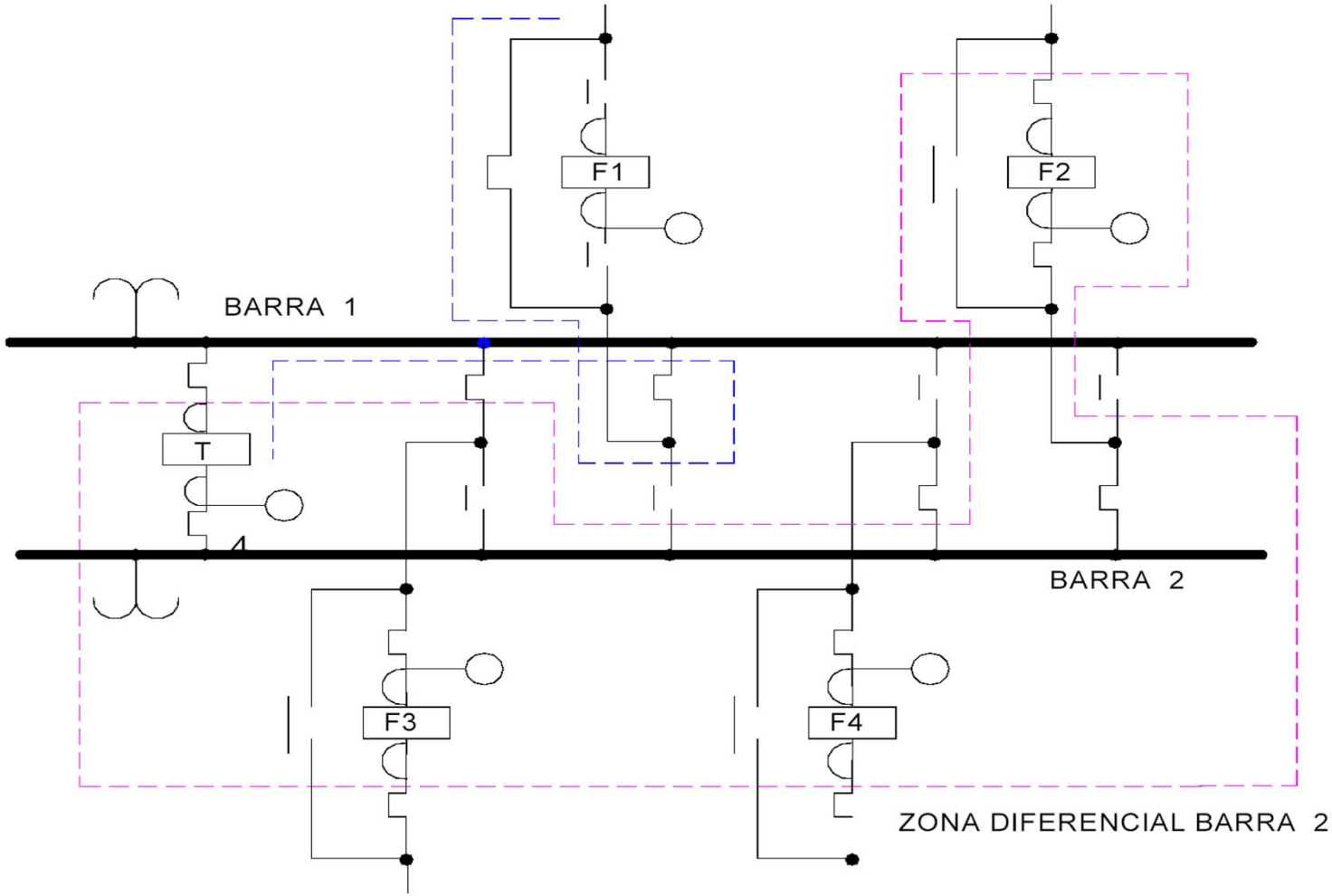
Configuraciones de las Barras

Barra doble con un interruptor – Op. normal



Configuraciones de las Barras

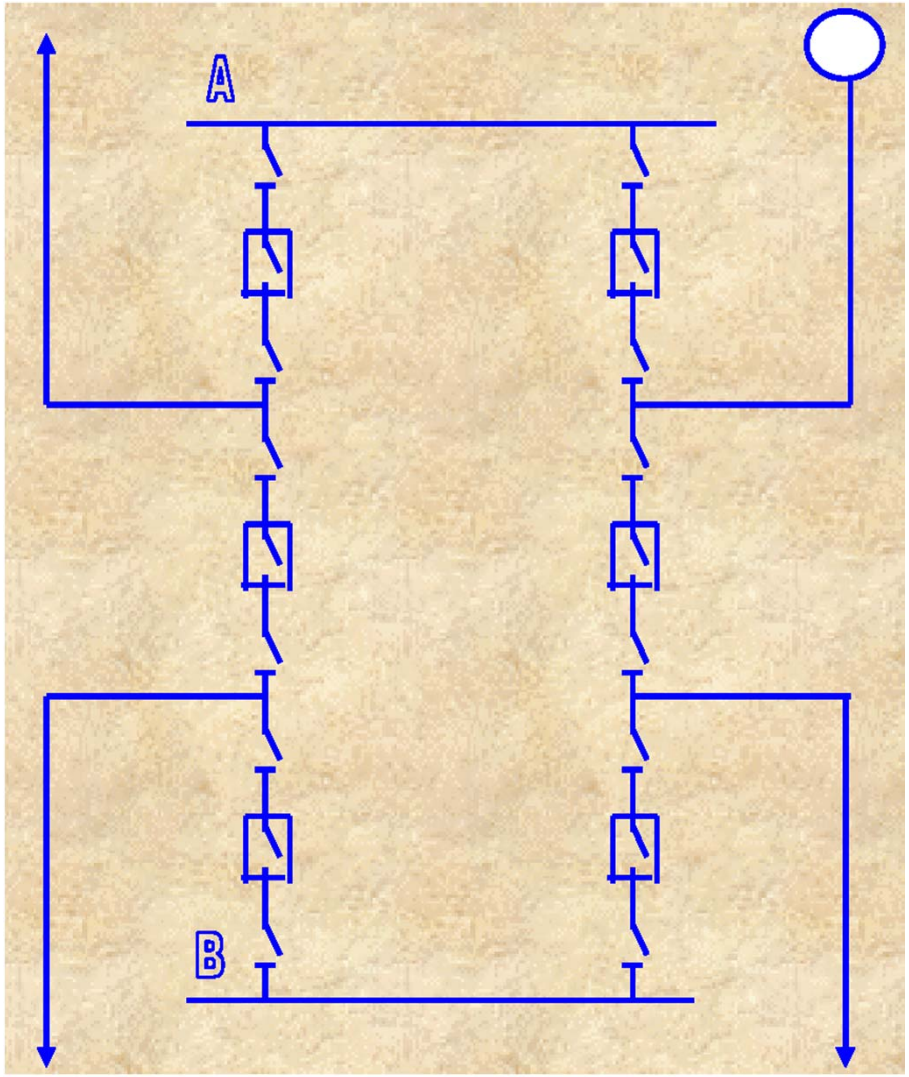
Barra doble con un interruptor (Interruptor F1 fuera de servicio)



Configuraciones de las Barras

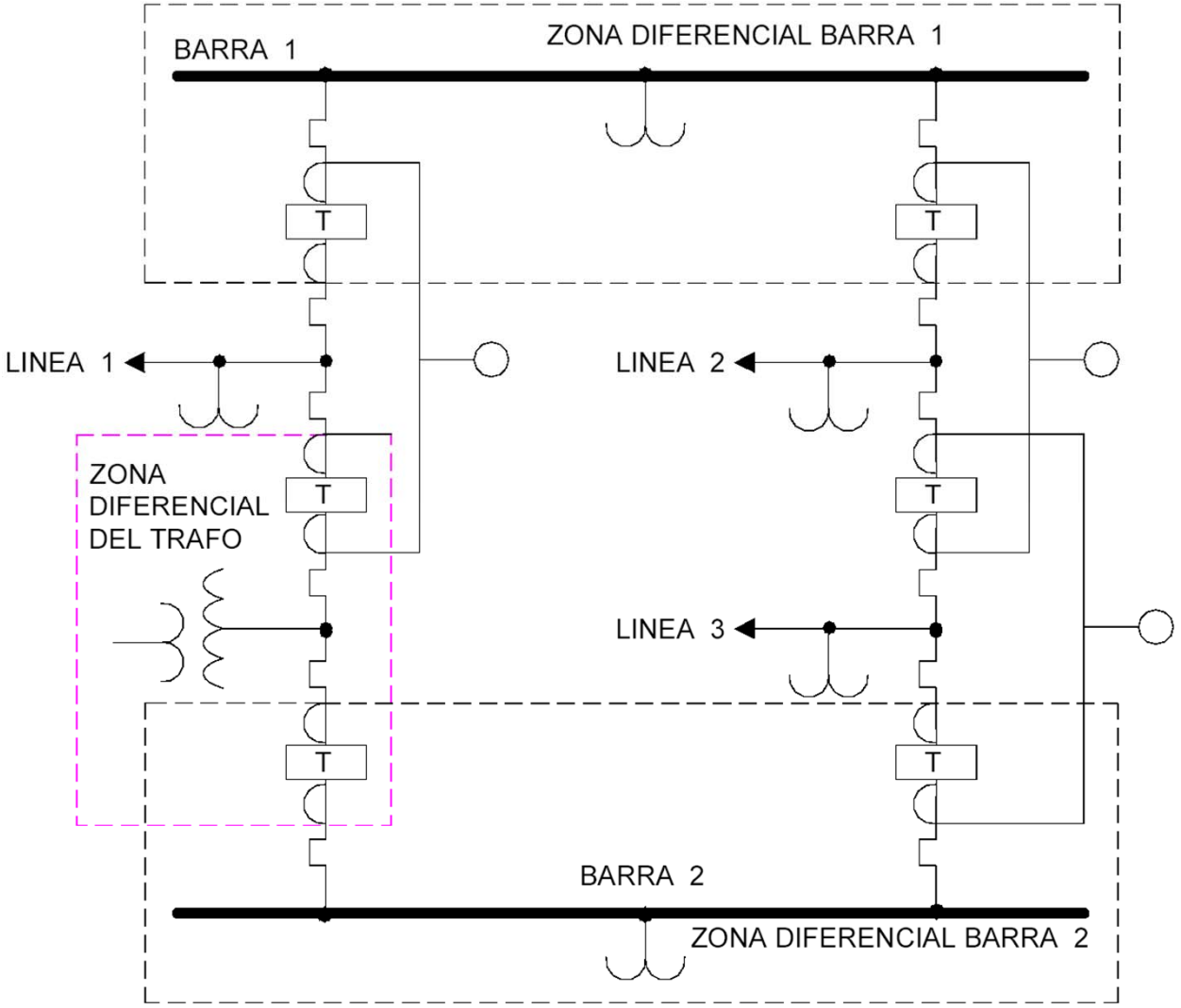
Interruptor 1 1/2

- Adecuada para instalaciones grandes.
- Las fallas en cualquier barra no ocasiona las salidas de servicio.
- Muy buena flexibilidad en la operación y el mantenimiento.
- Muy buena facilidad para la ampliación de la instalación.



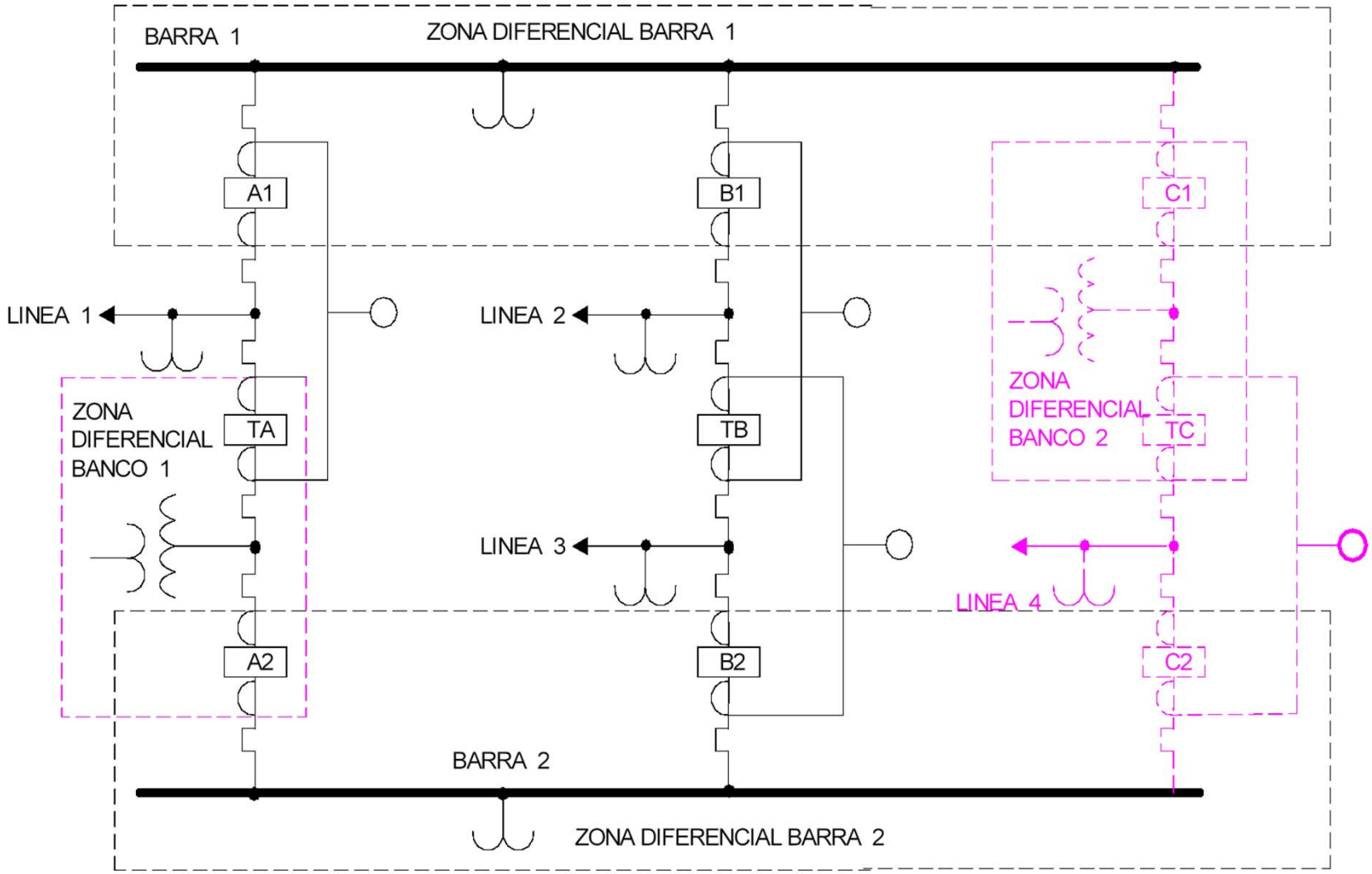
Configuraciones de las Barras

Interruptor 1 1/2



Configuraciones de las Barras

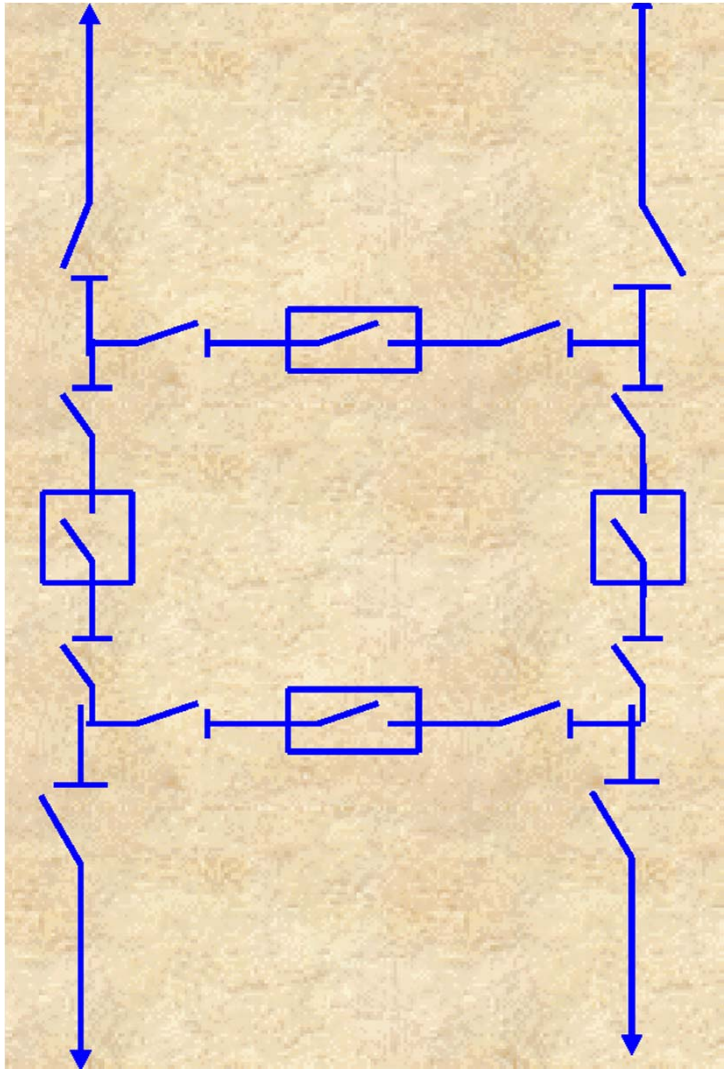
Interruptor 1 ½ (ampliación)



Configuraciones de las Barras

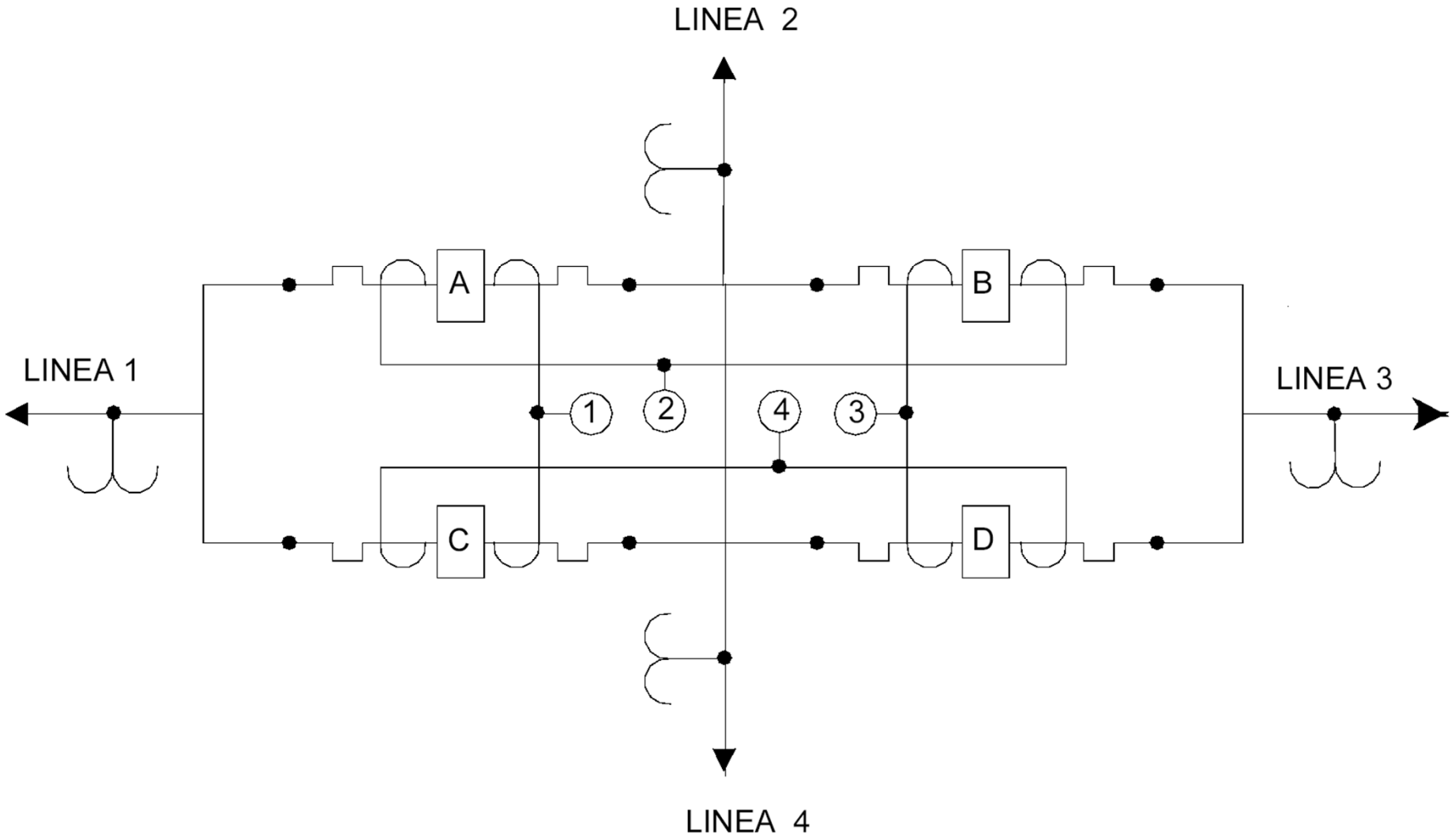
Barra en Anillo

- Usado en grandes instalaciones.
- Tiene buena confiabilidad de servicio.
- Tiene muy buena flexibilidad para operación y el respectivo mantenimiento.
- ES muy complicado realizar ampliaciones a las respectivas instalaciones.



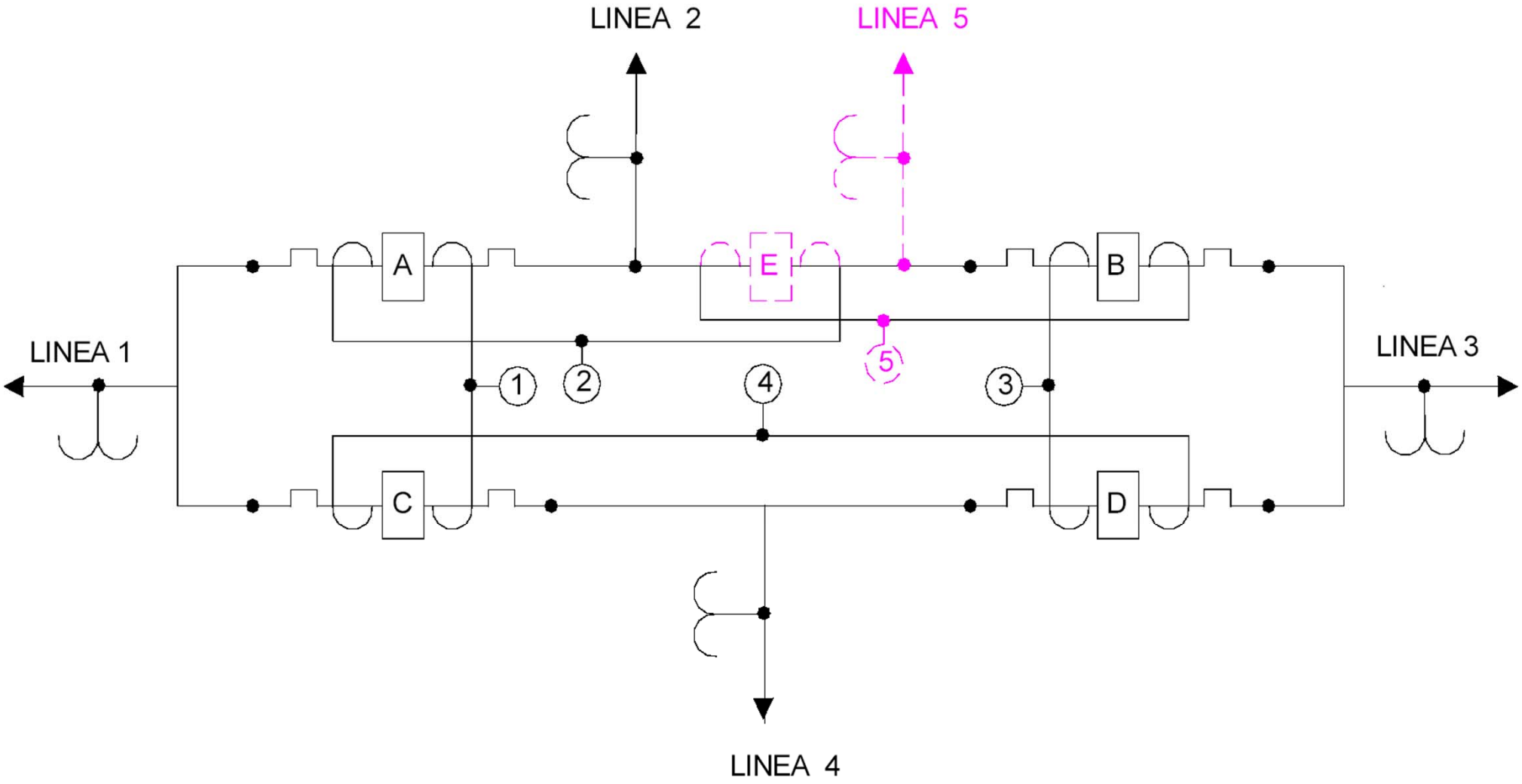
Configuraciones de las Barras

Barra en Anillo



Configuraciones de las Barras

Barra en Anillo (ampliación)



Protección Diferencial de Barras

Protección Diferencial de Barras

Introducción

- Los transformadores de potencia, barras, generadores y algunos motores de gran potencia usan protección diferencial como protección principal.
- Una variedad de métodos se ha usado para implementar los esquemas de protección diferencial de barras. La introducción de la tecnología digital ha permitido introducir considerables mejoras en las protecciones diferenciales de barras.

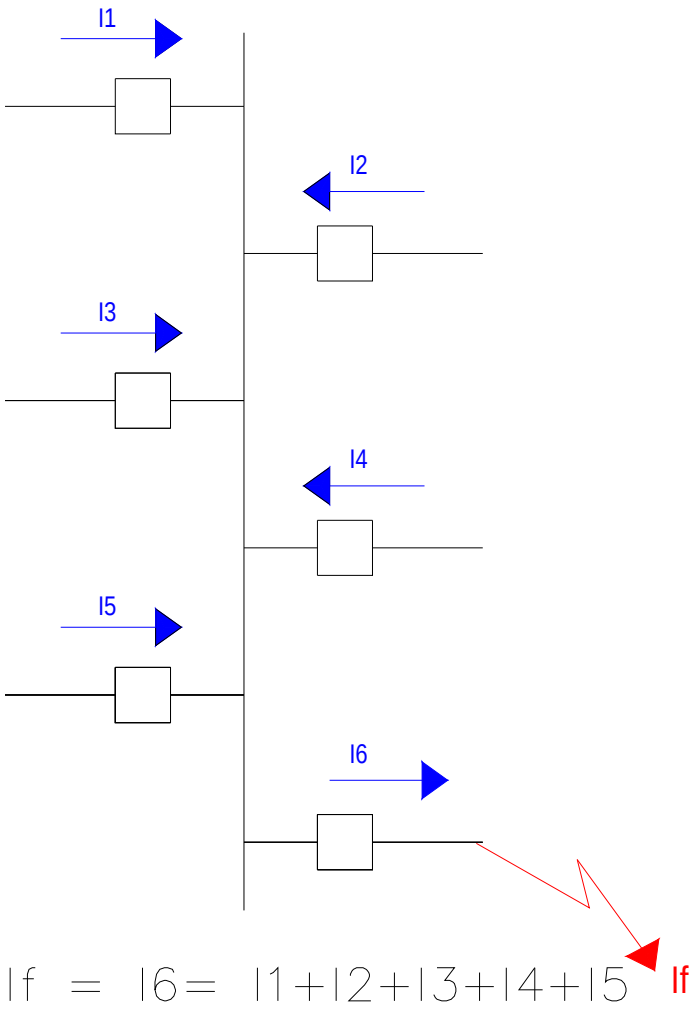
Protección Diferencial de Barras

Principio Básico

- La ley de Kirchhoff establece que la suma de corrientes que ingresan a un nodo es igual a la suma de corrientes que salen del mencionado nodo.
- Una protección diferencial de barras ideal aprovecha el principio que la suma de las corrientes es cero en caso de fallas externas y condiciones de flujos de potencia y que la sumatoria de corrientes es igual a la corriente de falla total para fallas internas.
- Consideremos dos condiciones demostradas para la barra simple mostrada en la Figura:

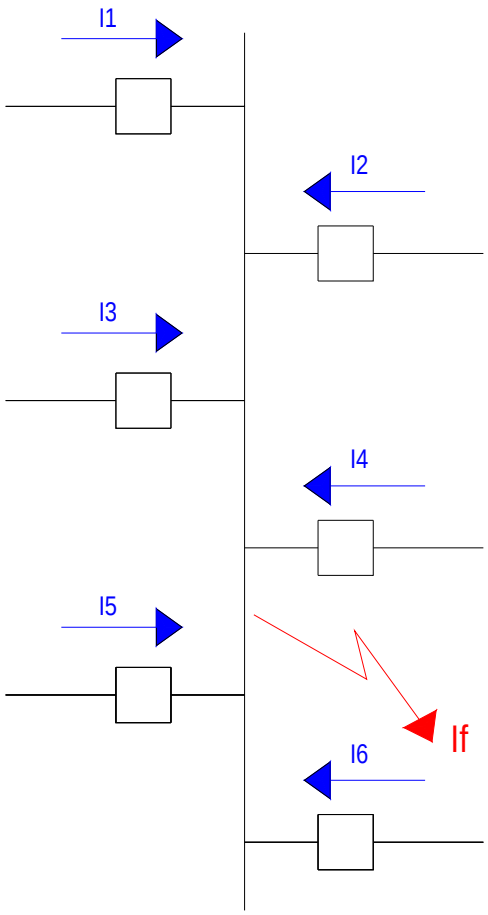
Protección Diferencial de Barras

Tipos de fallas en las barras



If = I6= I1+I2+I3+I4+I5

a. Falla externa o flujo de carga



If= I1+I2+I3+I4+I5+I6

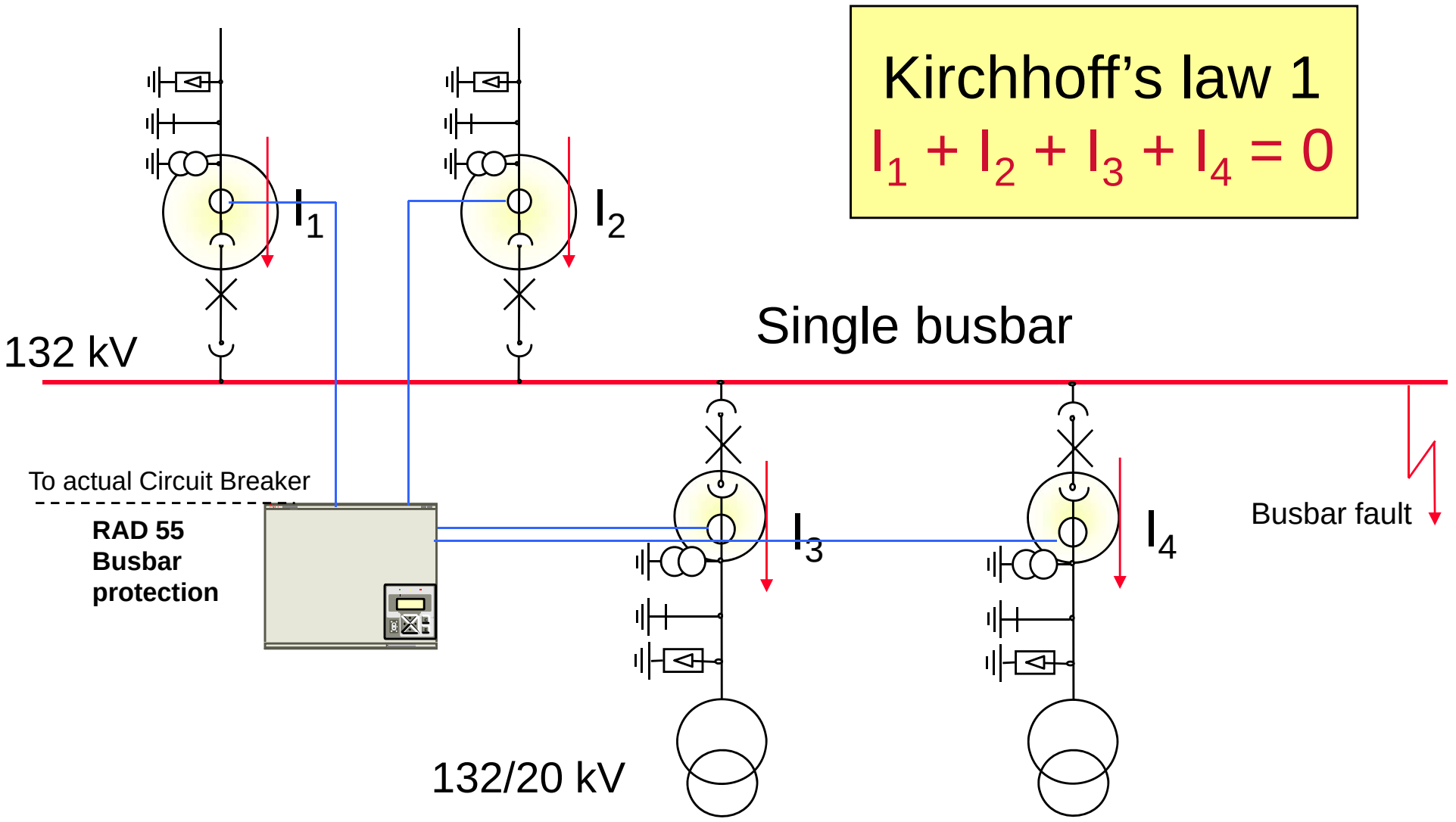
b. Falla interna

Protección Diferencial de Barras

Tipos de fallas en las barras

- Para una **falla externa**, las corrientes que salen de las barras son iguales a la suma de todas las corrientes que ingresan a la barra, y la suma total es cero; esta situación es igual en condiciones de flujo de potencia normal.
- Para una **falla interna**, la suma de todas las corrientes que ingresan a la barra es igual a la corriente de falla total (la suma total no es cero).
- En la práctica existen inconvenientes que no permiten conseguir una protección diferencial ideal, por lo que deben seguirse ciertos pasos para asegurar que la protección diferencial trabaje adecuadamente aún en condiciones no ideales.

Protección Diferencial de Barras



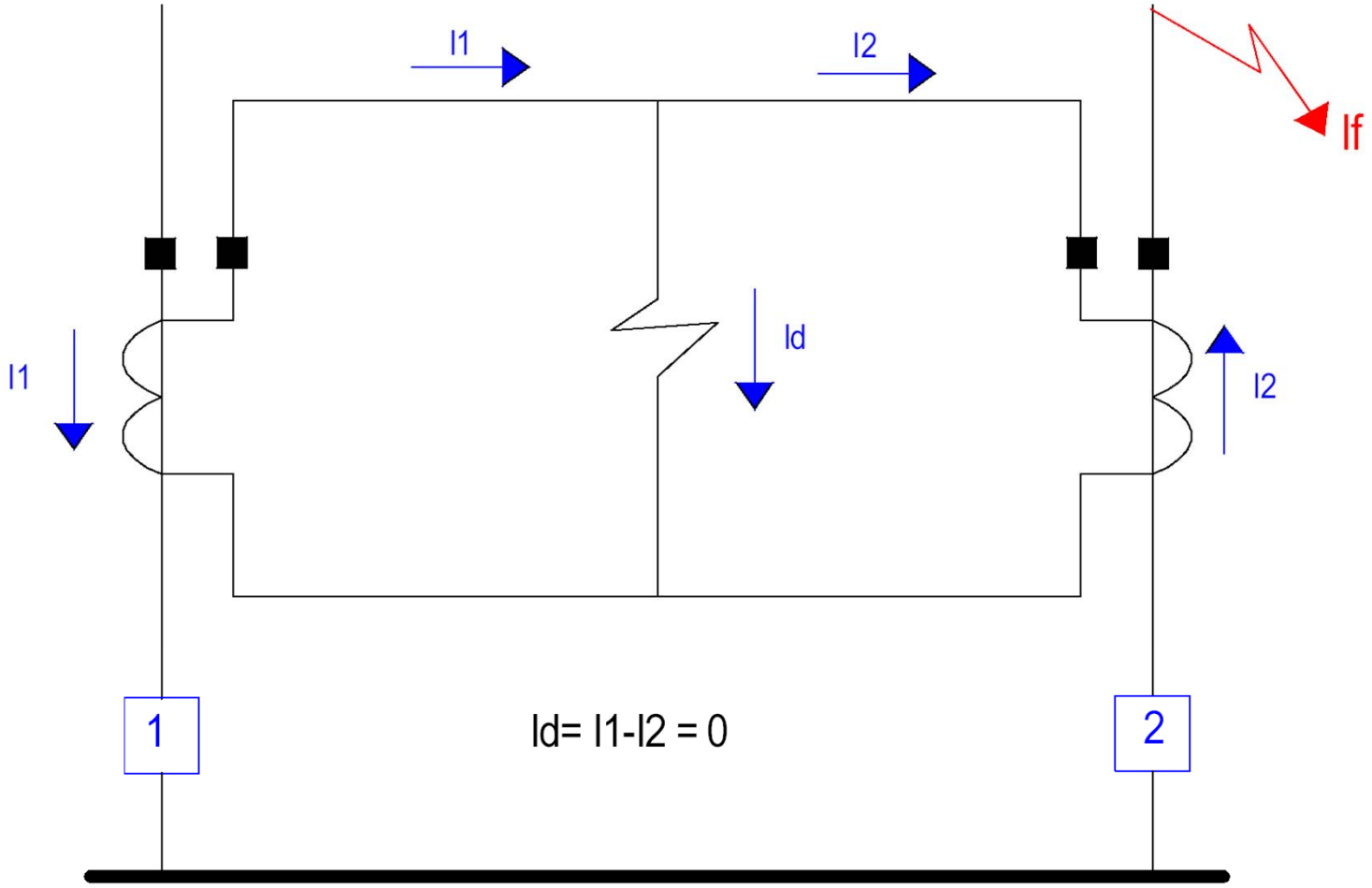
Protección Diferencial de Barras

Protección Diferencial Básico

En la Figura los transformadores de corriente (TC´s) tienen la misma relación y están conectados con el mismo sentido de polaridad de ahí que las corrientes que circulan en el circuito ubicado entre los TC´s sean cero (Id=0) para las fallas externas y condiciones normales de flujos de potencia, mientras que circulará la corriente de falla total para fallas internas (Id=If).

Protección Diferencial de Barras

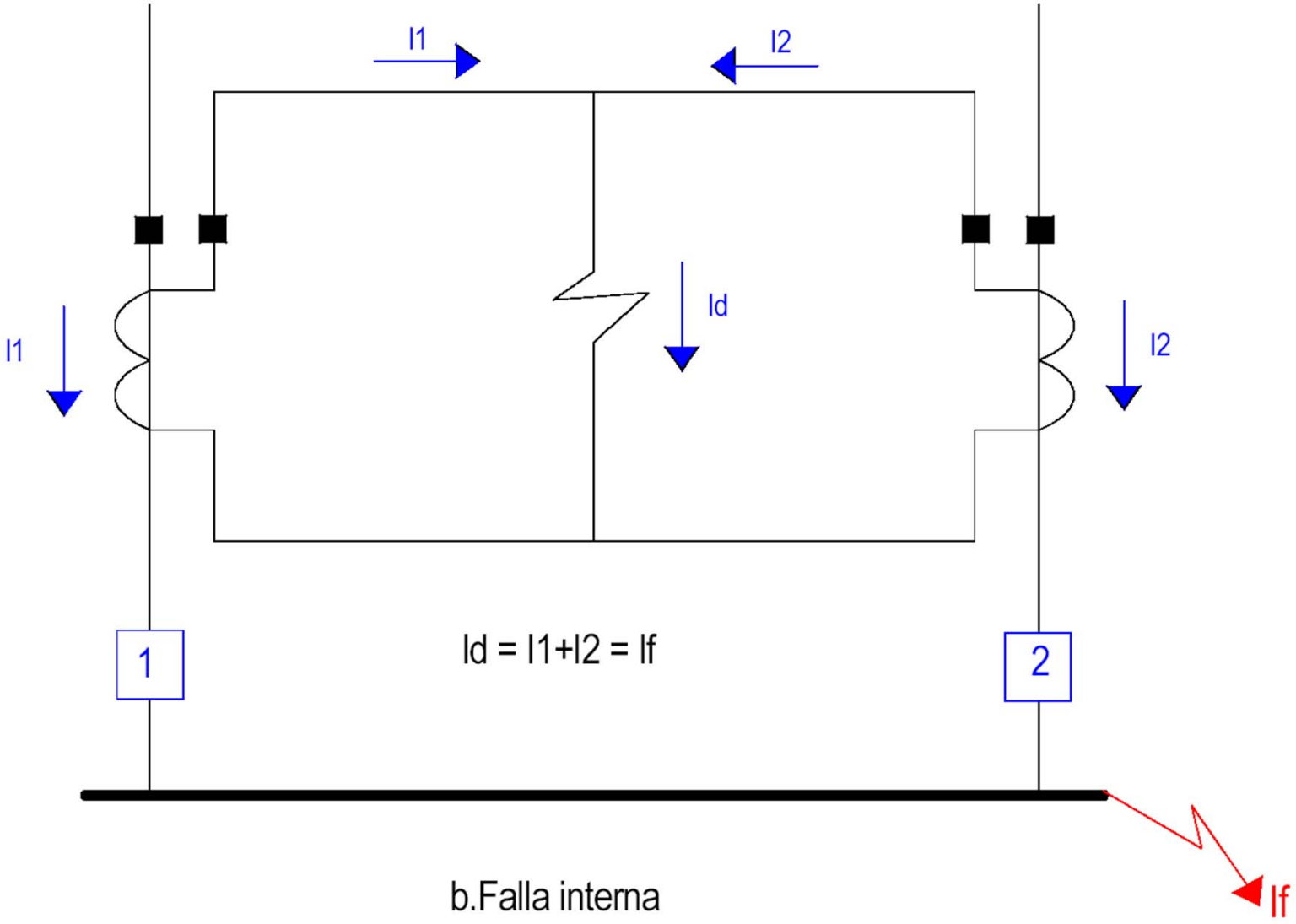
Protección Diferencial Básico



a.Falla externa

Protección Diferencial de Barras

Protección Diferencial Básico



b.Falla interna

Protección Diferencial de Barras

Protección Diferencial Básico

Si los transformadores de corriente reflejaran en el lado secundario exactamente lo que ocurre en el lado primario de los mismos (comportamiento ideal), el sistema de protección de la figura sería fácil de implementar usando relés de sobrecorriente. Desafortunadamente, en la práctica los transformadores de corriente se pueden saturar y hacer que la protección diferencial opere.

Protección Diferencial de Barras

Saturación del TC

La saturación del TC ocurre cuando el flujo requerido para producir una corriente secundaria excede la densidad de flujo del núcleo ya que depende de la sección física del hierro TC.

Factores de saturación del TC

- ✓ Relación de los TCs.
- ✓ Sección del núcleo.
- ✓ Carga conectada al secundario del transformador.
- ✓ Magnitud de la carga.
- ✓ Presencia y magnitud de flujo remanente.
- ✓ Densidad de flujo de saturación del núcleo de acero.

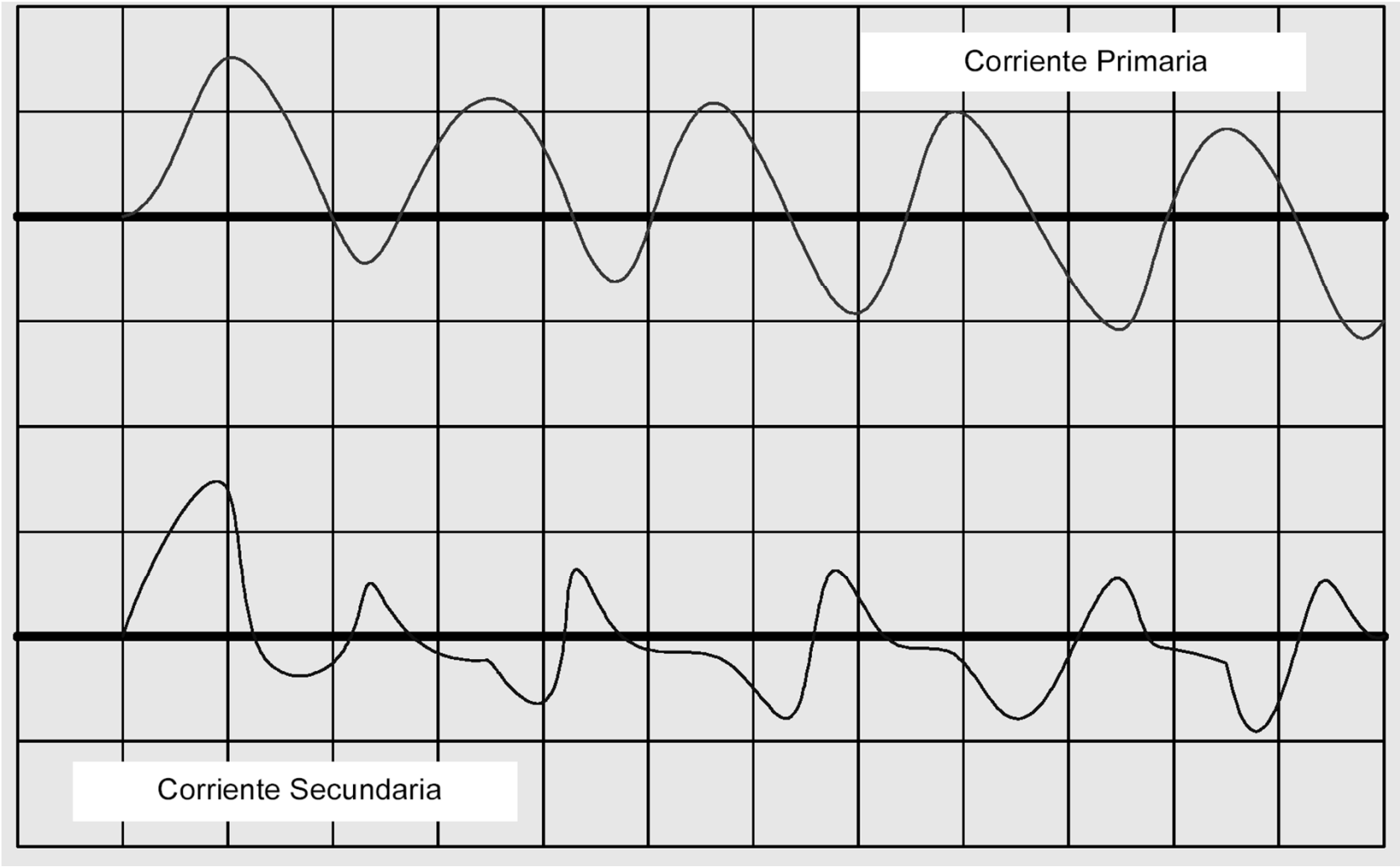
Protección Diferencial de Barras

Efectos de la saturación del TC

- Un caso típico de saturación del núcleo del TC se muestra en la siguiente figura, donde se puede tener aproximadamente el tiempo de saturación (30 ms). El punto donde la corriente secundaria se empieza a distorsionar esto depende de los factores ya descritos.
- La distorsión en la corriente secundaria puede causar problemas en el circuito diferencial de la barra colectora y muy posible en otros circuitos del relé.

Protección Diferencial de Barras

Efectos de la saturación del TC



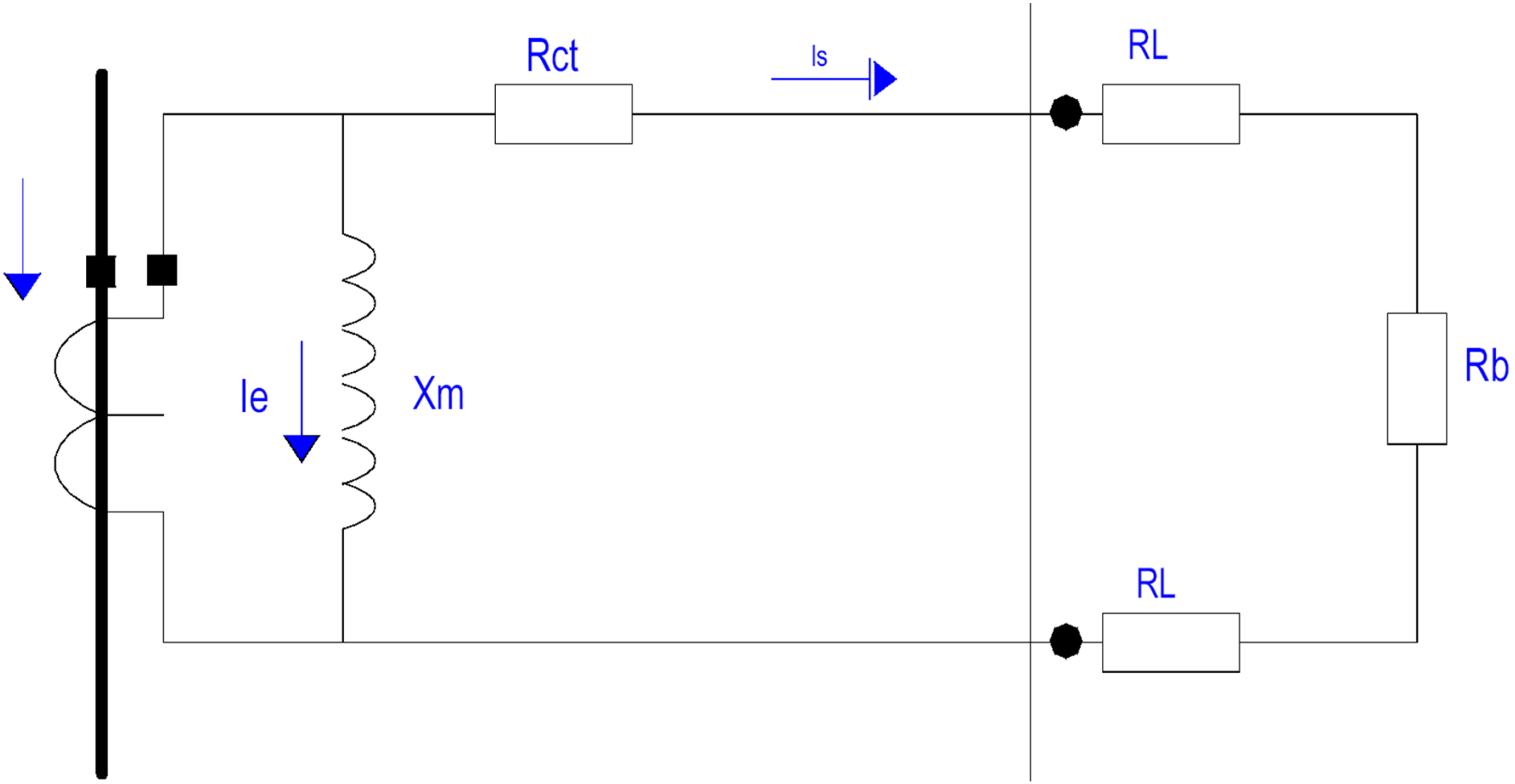
Protección Diferencial de Barras

Circuito equivalente del TC saturado

- El circuito es típicamente representativo de un transformador de corriente tipo bushing que tiene los devanados totalmente distribuidos en un núcleo tipo toroidal. En una primera aproximación se puede despreciar la reactancia, por lo que como muestra la Figura, el circuito se representa solamente con componentes resistivos.
- Cuando el TC se satura, la impedancia de magnetización tiende a anularse por lo que la corriente secundaria que circula por la carga también tiende a anularse. El efecto de este comportamiento de la corriente en los relés dependerá del tipo de relé que se este usando. Solamente el efecto en la protección diferencial de barras se verá en este capítulo.

Protección Diferencial de Barras

Circuito equivalente del TC saturado



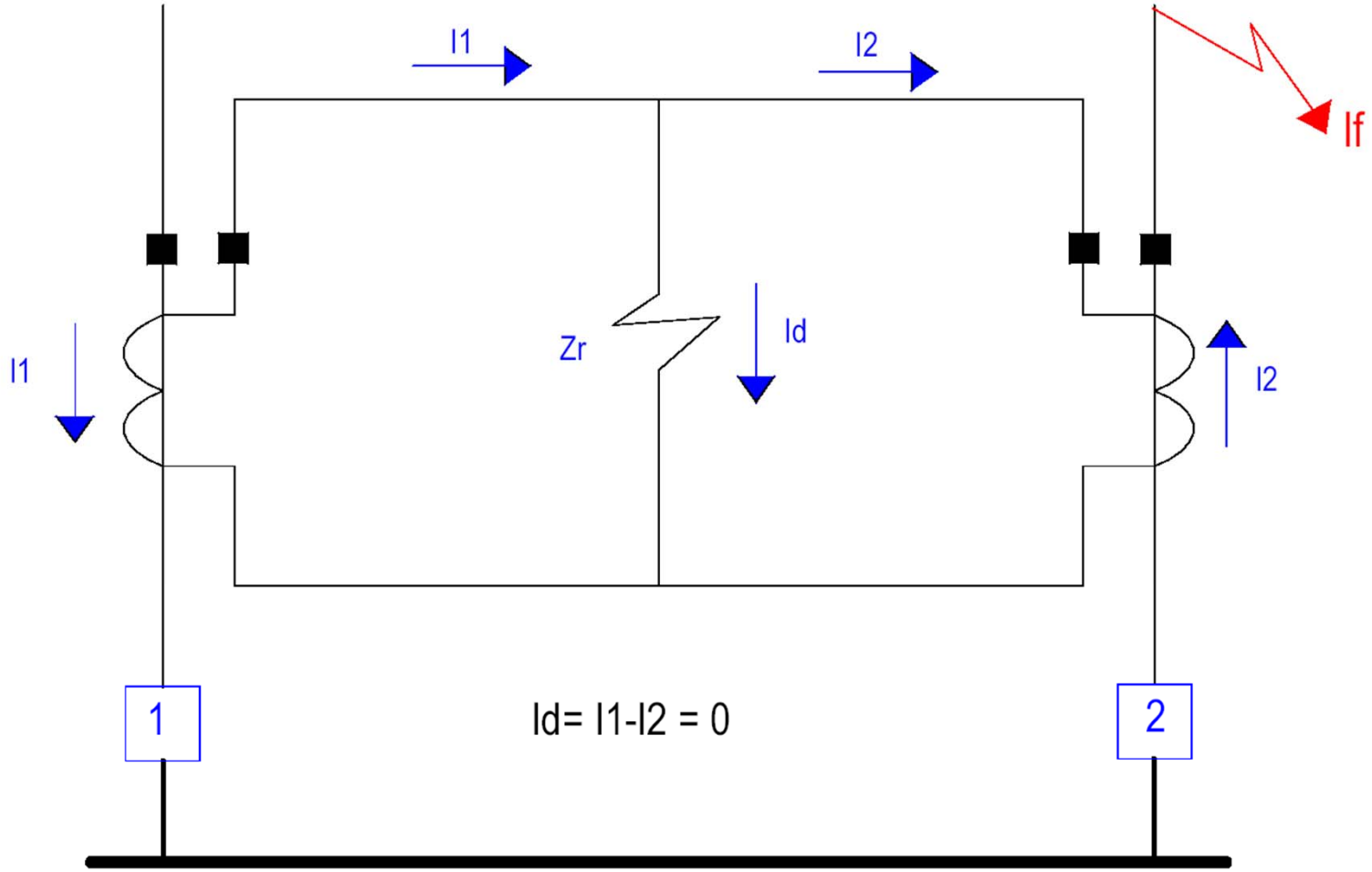
Protección Diferencial de Barras

Relé de Sobrecorriente

- El circuito diferencial que usa un sencillo relé de sobrecorriente se muestra en la figura, donde se ha supuesto una falla externa a la barra.
- Si el transformador de corriente no se satura, la magnitud de la corriente diferencial (Id) será cero y no habrá posibilidad de operación del relé.
- Si existiera saturación del TC, la corriente diferencial Id será diferente de cero y podría operar el relé de sobrecorriente si la corriente diferencial Id supera el valor de ajuste del relé.

Protección Diferencial de Barras

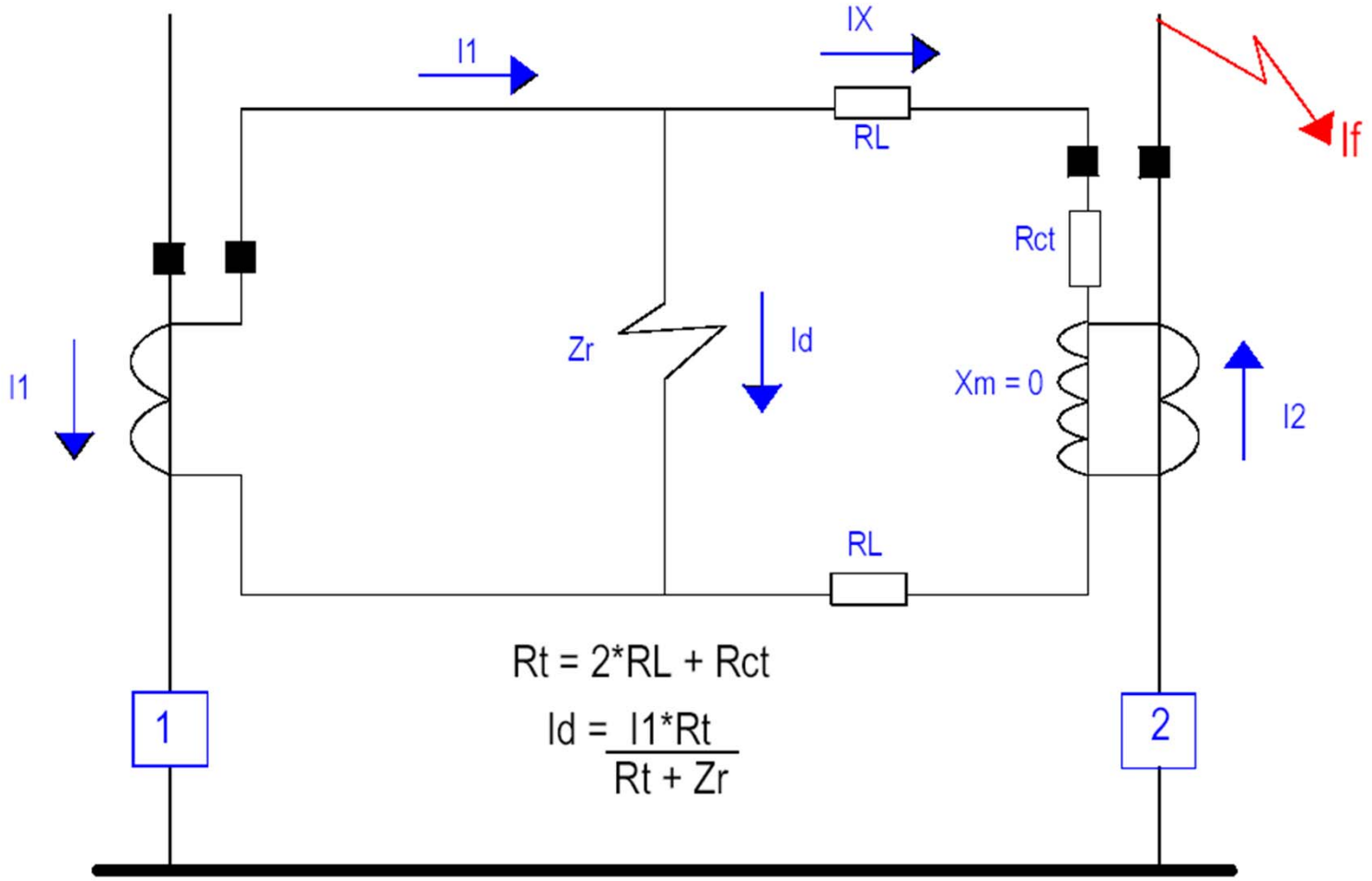
Relé de Sobrecorriente



- Sin saturación del TC.

Protección Diferencial de Barras

Relé de Sobrecorriente



- Con saturación del TC.

Protección Diferencial de Barras

Relé de Sobrecorriente

- El circuito con TC saturado representa la peor condición, para lo cual el relé debe ser ajustado por encima de este valor para prevenir la operación innecesaria debido a la saturación del TC, esto puede traer consecuencias ya que puede quitar sensibilidad y no detectar fallas mínimas en la barra.
- Una forma de solucionar esto es temporizando para la función de sobrecarga, pero esto es difícil de determinar exactamente. Incluso aun cuando el tiempo podría ser determinado con precisión, esto podría ser demasiado largo desde un punto de vista del sistema llevando consigo problemas de estabilidad.

Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia

- El relé, que está conectado a los terminales secundarios del TC, tiene una impedancia cuyo valor es mucho mayor que la resistencia total que consta de la resistencia del transformador de corriente y el cable que une el transformador de corriente y el relé.
- La tensión que se produce entre los terminales del relé (Vr), será igual a la caída de tensión que es el resultado del producto de la resistencia total del secundario del TC y la corriente de falla que circula por ella.
- Los cálculos de esta caída de tensión se efectúan para cada alimentador con la finalidad de determinar el máximo valor posible asumiendo siempre la saturación completa del transformador de corriente respectivo.
- En consecuencia, el ajuste de la tensión en el relé se lleva a cabo teniendo en cuenta la tensión máxima encontrada más un adecuado margen.

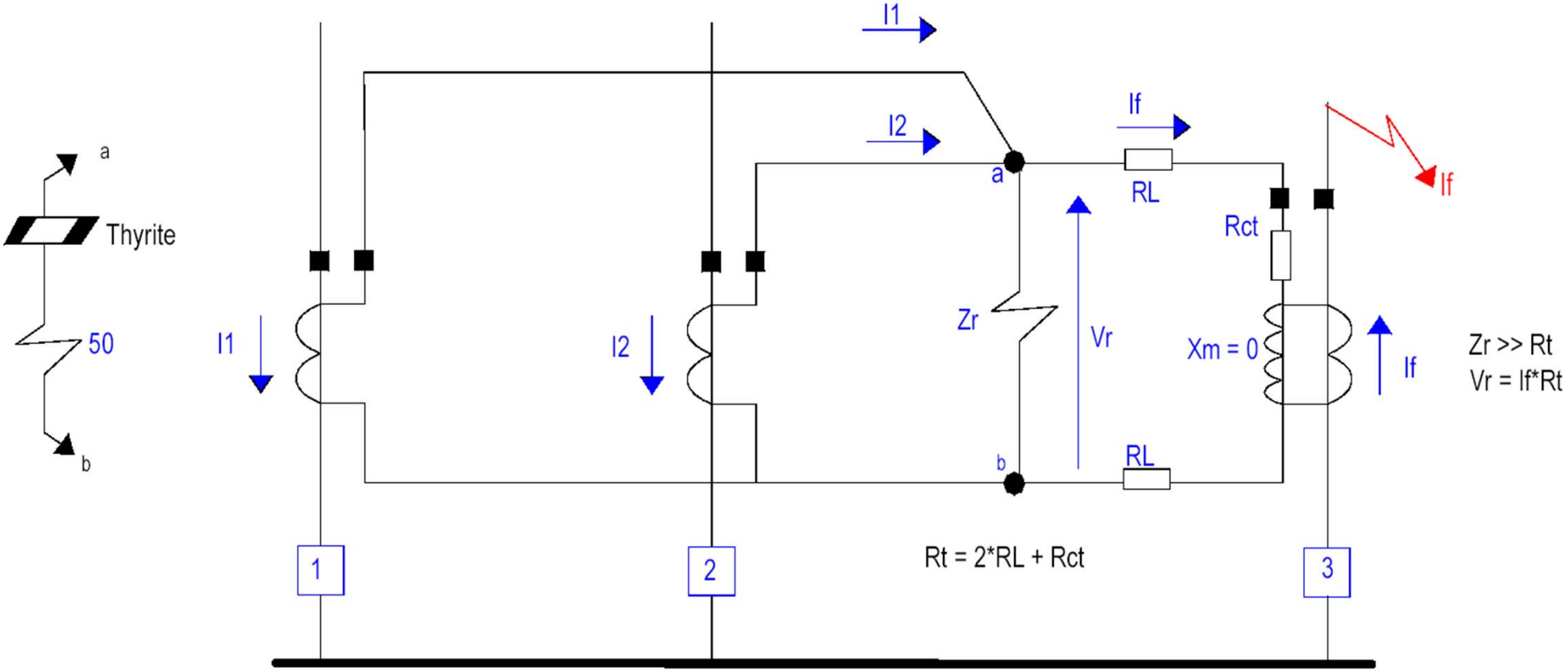
Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia

- Para fallas internas, se desarrollarán magnitudes de tensión extremadamente grandes en los terminales del relé debido a la alta impedancia . Esta situación puede causar daños a los transformadores de corriente y/o relés si no se toman precauciones para limitar la magnitud de la tensión.
- La aplicación del relé diferencial de alta impedancia se basa en que todos los transformadores de corriente tengan la misma relación de transformación. En algunas instalaciones puede haber transformadores de corriente de diferente relación de transformación, pero con taps que puedan adecuarse a la relación requerida.

Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia



- Relé diferencial de alta impedancia (Voltaje operado).

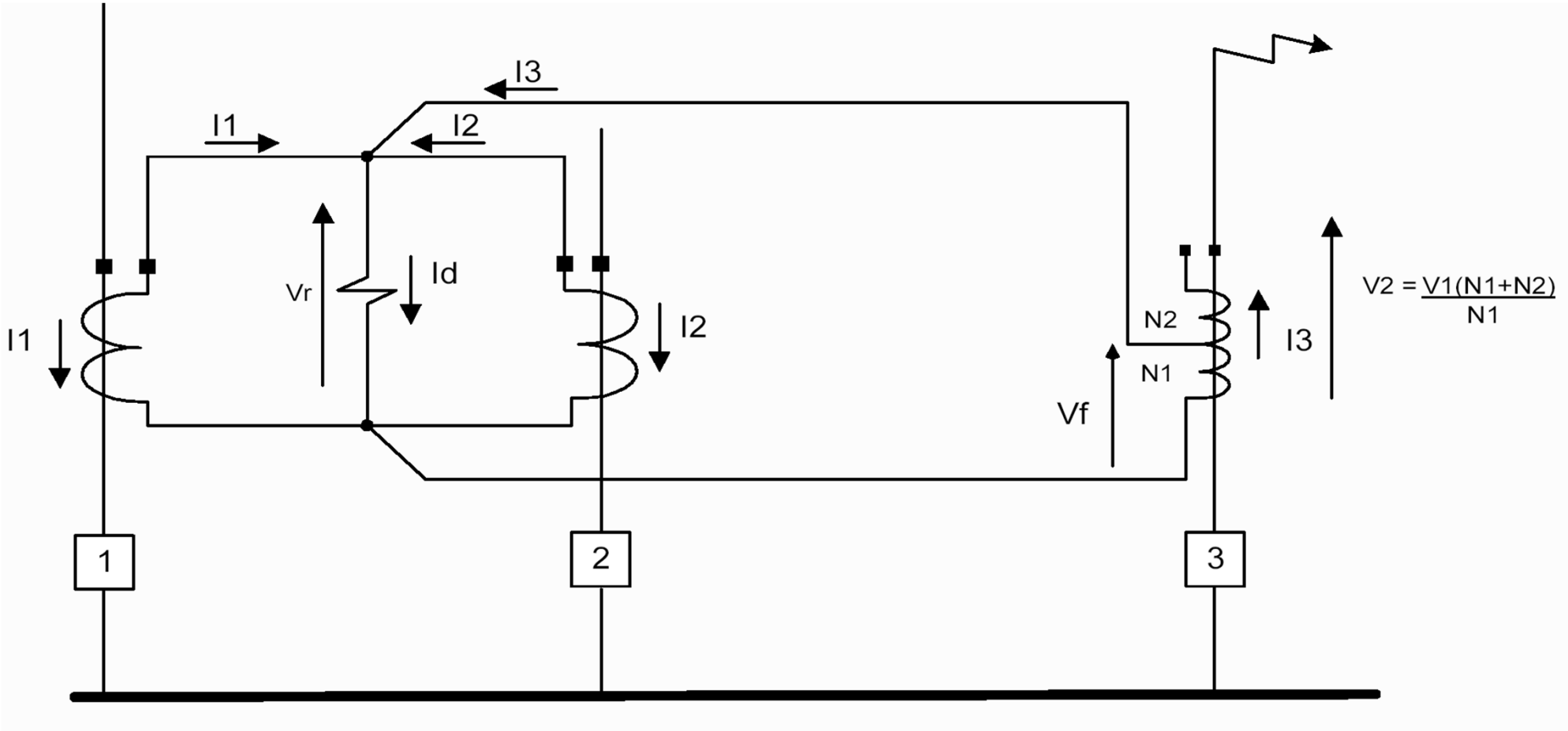
Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia

- Para fallas internas, las tensiones grandes tratarán de ser detectados a través de el relé debido a la alta impedancia, esto podría llevar a un daño del TC y/o al relé las precauciones no son tomadas para limitar la tensión, el circuito tiristor mostrado en la figura anterior es una técnica donde el incremento de voltaje es inverso al valor de la resistencia.
- La aplicación del relé diferencial de alta impedancia es basado en que todos los TCs son de la misma RTC, en algunos casos se puede usar con diferente RTC pero se tendrá que compensar con los taps disponibles de los TC (Ver Figura).

Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia



- Relación de emparejamiento con múltiple relación de los TCs.

Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia

- Generalmente no es aconsejable conectar otras protecciones en el mismo circuito secundario de los transformadores de corriente donde están conectados las protecciones diferenciales de alta impedancia debido a que la carga adicional puede incrementar la tendencia a la saturación del transformador de corriente o puede resultar en un ajuste que caiga fuera del rango permitido por la protección diferencial.
- Es posible usar transformadores auxiliares para corregir las relaciones de transformación de los transformadores de corriente principales pero el transformador debe ser capaz de desarrollar la tensión necesaria para la operación del relé en caso de fallas internas.

Protección Diferencial de Barras

Relé de alta impedancia

- Una de las ventajas de utilizar protecciones diferenciales de alta impedancia es que todo el cableado de combinación de los transformadores de corriente que alimentan a la protección diferencial se pueden hacer en el patio, simplificando de esta manera el cableado de patio a la sala de control donde se encuentra la protección diferencial y por otro lado permite que los ajustes del relé sean más sensibles.

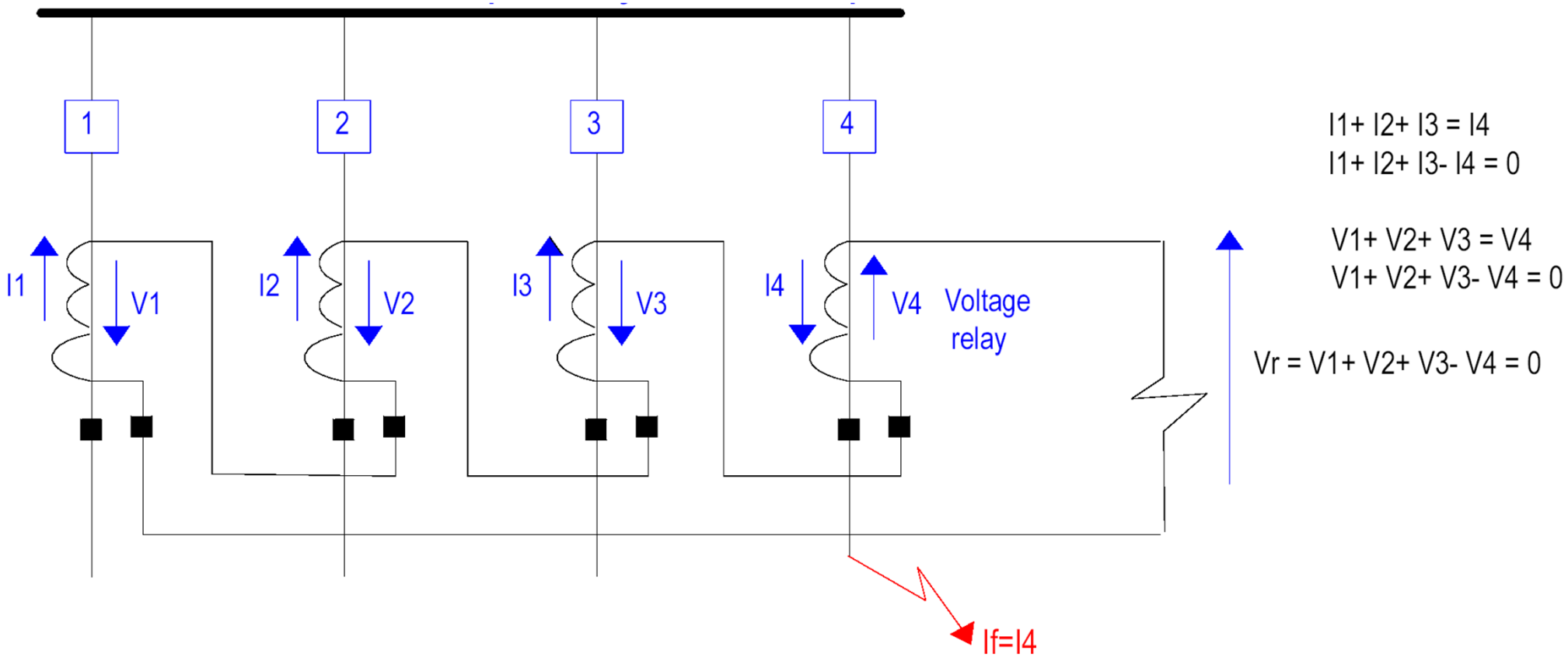
Protección Diferencial de Barras

Acopladores de Línea

- Los acopladores de línea, los cuales no tienen acero en sus núcleos, se pueden usar para superar el problema de la saturación de los transformadores de corriente. Estos dispositivos tienen una característica lineal que producen tensión en el secundario con una magnitud directamente proporcional a la corriente en el lado primario. Para una falla externa, la suma de las tensiones será muy cercana a cero.
- Por otro lado, todas las tensiones son aditivas para una falla interna, originando de esta manera una tensión suficiente para la operación del relé.
- Estos dispositivos proporcionan una solución relativamente simple para la protección de barras, algunas aplicaciones aún existen, pero en los últimos años los acopladores lineales no son aceptados debido a su característica especial y limitada aplicación.

Protección Diferencial de Barras

Acopladores de Línea



- Acoplamiento Lineal.

Protección Diferencial de Barras

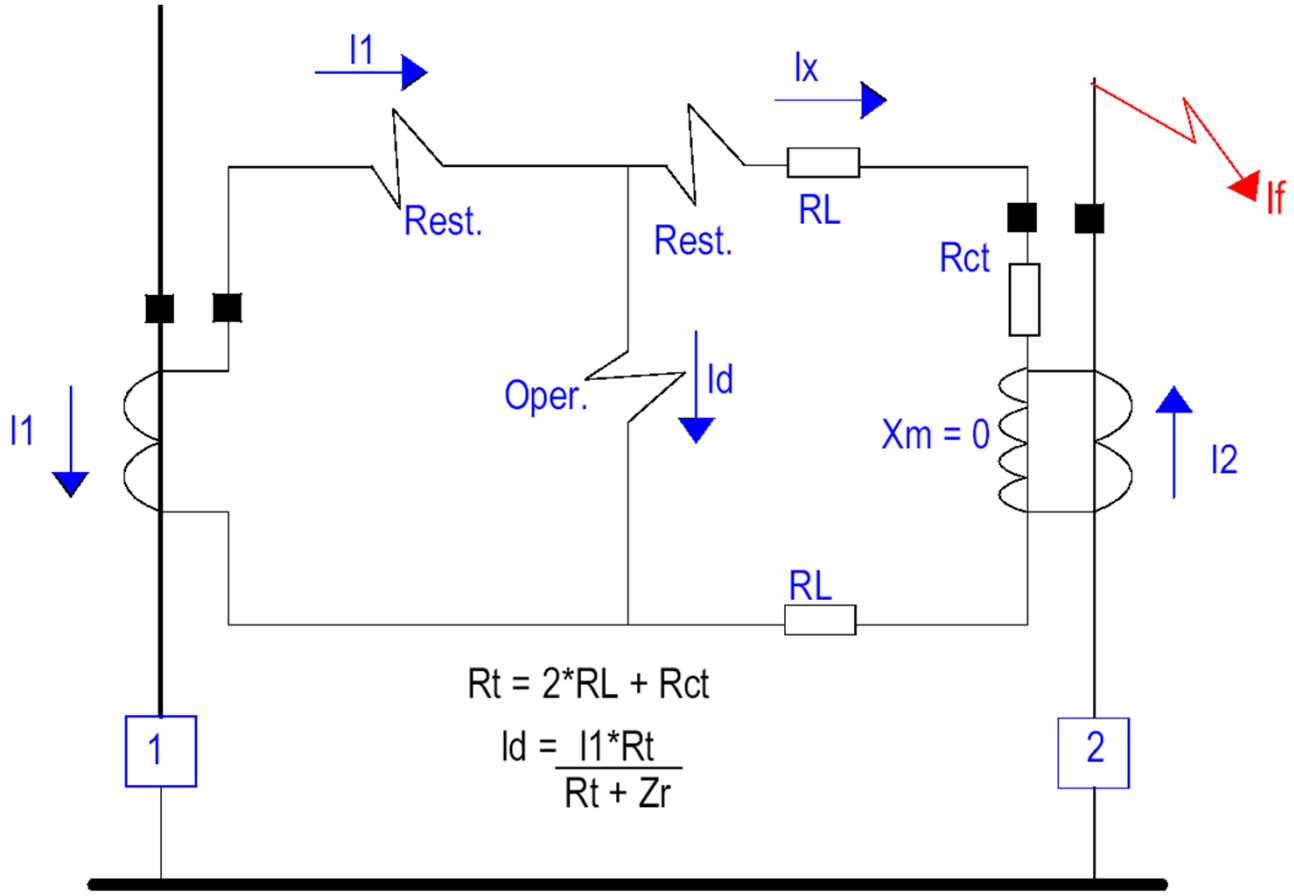
Diferencial de restricción porcentual

- El relé actuará cuando la corriente diferencial (Id) es mayor que un porcentaje del total de la corriente de restricción.
- La magnitud del porcentaje generalmente es ajustable.
- La característica de operación del relé es tal que en condiciones sin fallas la corriente de restricción siempre es mayor y la corriente diferencial es casi nula.
- La pendiente de la característica de operación depende del ajuste del porcentaje de restricción.
- Se requiere una resistencia de estabilización.

Protección Diferencial de Barras

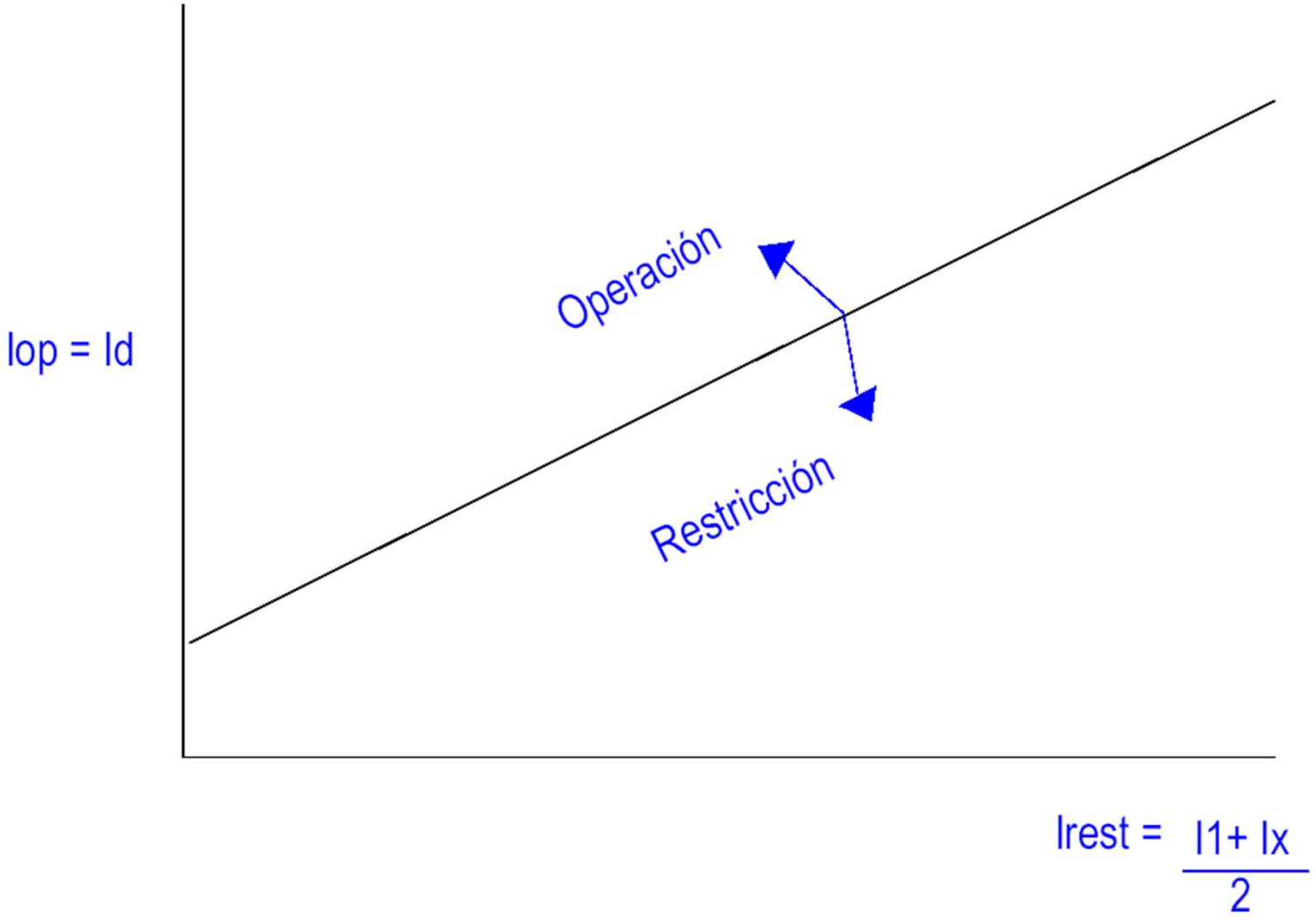
Diferencial de restricción porcentual

En las instalaciones donde las relaciones de transformación de los transformadores de corriente no son iguales, se pueden utilizar transformadores de corriente auxiliares para adecuar la correcta relación necesaria para la protección diferencial.



Protección Diferencial de Barras

Diferencial de restricción porcentual



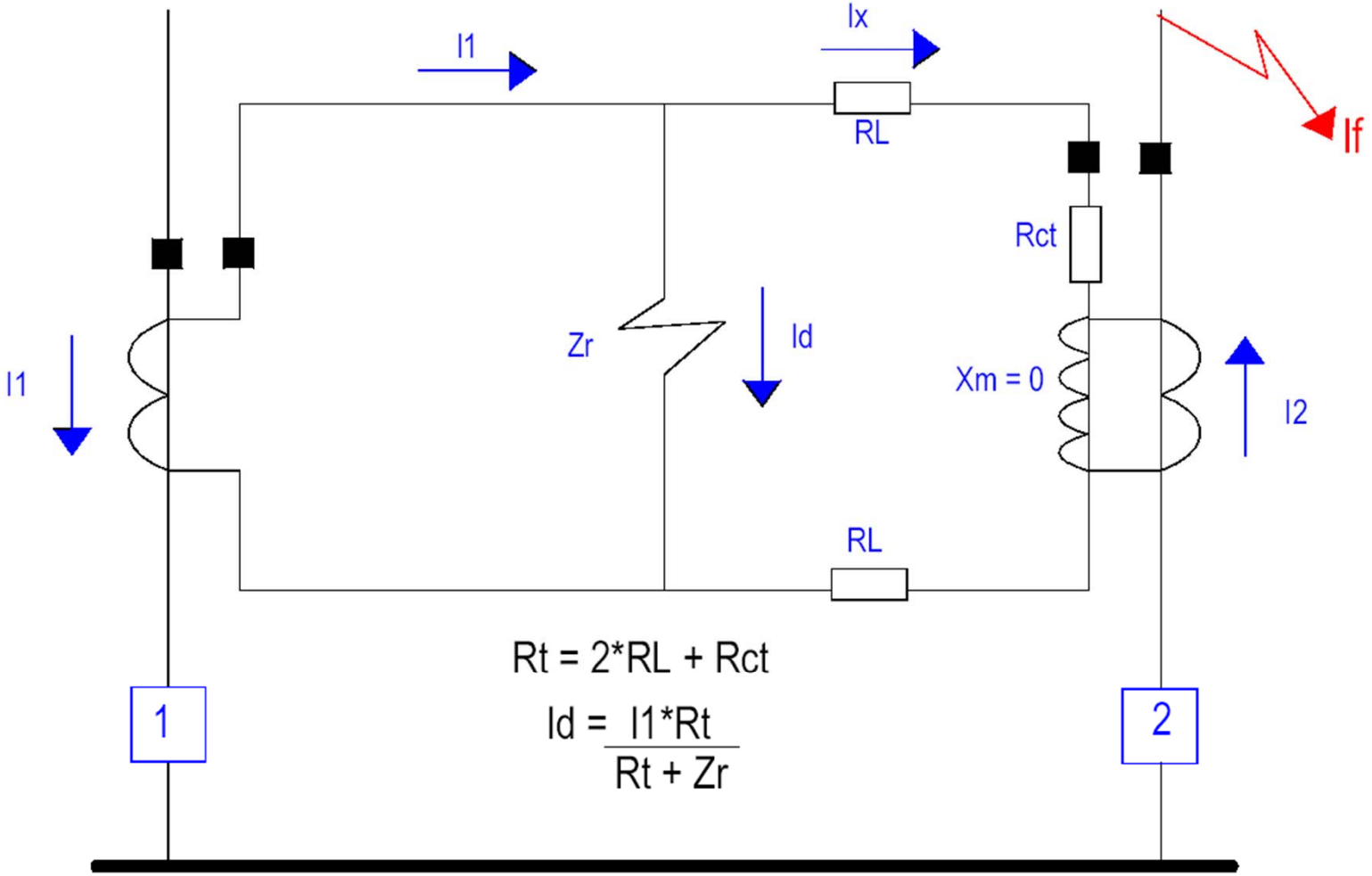
Protección Diferencial de Barras

Relé de baja impedancia

- Es posible usar si se toman las precauciones para obviar la saturación de los transformadores de corriente.
- Se asume que le TC ubicado en la línea 2 se satura completamente cada medio ciclo dando como resultado la corriente I_x.
- Como resultado del colapso del TC en la línea 2, se producirá la circulación de la corriente diferencial I_d.
- La corriente de operación I_{op}, es el valor absoluto de la corriente diferencial I_d y de la corriente de restricción I_{rest}, es la suma de los valores absolutos de todas las corrientes que ingresan y salen del punto de unión de los circuitos de los transformadores de corriente.

Protección Diferencial de Barras

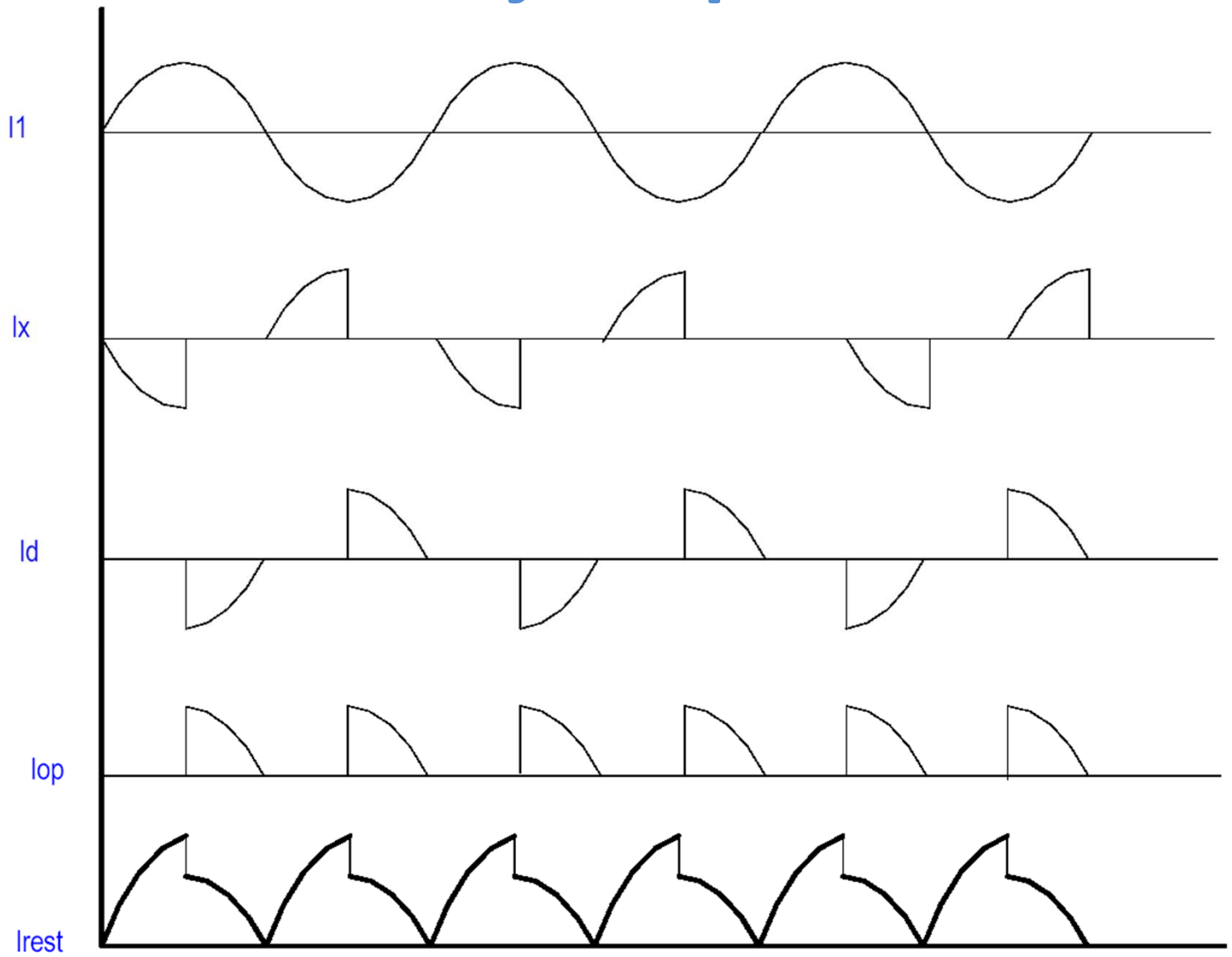
Relé de baja impedancia



Con CT saturado

Protección Diferencial de Barras

Relé de baja impedancia



Protección Diferencial de Barras

Ventajas de la tecnología digital

- Habilidad para obtener datos oscilograficos por fallas.
- Medición de las capacidades.
- Configuración individual para la detección de la corriente en cada alimentación.
- Supervisión de los TCs (contra apertura del secundario).
- Error de polaridad, indica alarma.
- Detección fallas de cada interruptor puede ser incluido para cada interruptor.

Universidad Nacional del Centro del Perú

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Material de Enseñanza

094C Protección de Sistemas de Potencia

¡Muchas Gracias!

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com