



Contaminación Electromagnética

INTRODUCCION

El Ruido Eléctrico, en sus varias formas, puede afectar adversamente cualquier elemento de una red de circuitos electrónicos. Hoy en día su potencial para causar daño o disfunción aumenta en la misma medida en que los circuitos electrónicos son cada vez más complejos. En la actualidad, las computadoras y los sistemas basados en microprocesadores, operan a velocidades cada vez más altas y con mayores funciones por el uso de complejos componentes de estado sólido, analógicos y digitales, cuyas características principales son el tamaño y el peso reducidos. Estos los hace inherentemente más frágiles y susceptibles de daño y/o funcionamiento defectuoso debido al ruido eléctrico.

La tendencia actual de lograr un mejor desempeño con los más pequeños elementos a contribuido a hacerlos más susceptibles a los problemas del ruido. Esto a ocasionado que circuitos digitales con altas frecuencias de corte se conviertan en fuente y recepción, al mismo tiempo, de ruido eléctrico; las fuentes de poder de tipo ininterrumpible, empleadas por su alta eficiencia y tamaño más pequeño, utilizan también frecuencias altas y pueden contribuir al ruido adicional. Están, por supuesto, las fuentes más convencionales del ruido como son la apertura y cierre de relevadores, de contactores, e interruptores de circuitos, la operación de circuitos de potencia basados en SCR tal como los controladores de fase, las frecuencias emitidas por la radio, las descargas atmosféricas, y un sinnúmero de otros elementos. Además, con dispositivos operando muy cercanos a sus límites de capacidad de transmisión y distribución, las interrupciones y apagones han llegado a ser de lo más común, y el resultado de una carga cambiante y una red inestable es que ésta se convierte en una fuente que incrementa los problemas eléctricos por ruido.

Gurcharn S. Dang
Vicepresidente de Ingeniería
Topaz, Inc.
Marzo, 1987

PARTE I

CARACTERISTICAS Y CAUSAS DEL RUIDO ELECTRICO

Idealmente, un elemento debe recibir la energía eléctrica de una fuente de CA que entrega un voltaje de salida senoidal de frecuencia apropiada y a su valor nominal sin alteraciones o deformación.

Prácticamente, la energía eléctrica típicamente encontrada en los sistemas de distribución de potencia de bajo voltaje (abajo de 600 V) de edificios industriales y comerciales tiene probabilidades amplias de contener algunas de las siguientes características:

- ◆ *Variaciones suaves de Voltaje*
- ◆ *Fluctuaciones repentinas de Voltaje*
- ◆ *Interrupciones Momentáneas*
- ◆ *Interrupciones Sostenidas*
- ◆ *Desviaciones de Frecuencia*
- ◆ *Desbalanceo de Fases*
- ◆ *Distorsión Armónica*
- ◆ *Señales de alta o baja Frecuencia inyectadas intencionalmente*
- ◆ **RUIDO ELECTRICO**

De lo mencionado arriba, el ruido eléctrico es el problema mayormente extendido. En esta sección, examinaremos:

- ◆ *Características del Ruido Eléctrico*
- ◆ *Las Causas del Ruido Eléctrico*
- ◆ *Cómo ingresa el Ruido Eléctrico en los circuitos sensibles*

1- CARACTERISTICAS DEL RUIDO ELÉCTRICO

Antes de analizar las características del ruido eléctrico, es importante, primero, la definición de ruido y algunos otros términos relacionados.

Definición de Ruido

El Ruido Eléctrico puede ser definido como cualquier forma de energía electromagnética diferente de la señal deseada y de sus componentes armónicos.

Los términos frecuentemente usados, conjuntamente con el de ruido eléctrico, se definen como sigue:

Transitorio es usado a veces como sinónimo de ruido, aunque el término esté más a menudo asociado con cambios momentáneos de la amplitud del voltaje, de la corriente, o ambos. Los Transitorios resultan de un cambio intencional o involuntario del estado de operación de un circuito. El Ruido es casi siempre una desviación involuntaria e impredecible del valor de estado estable del voltaje o corriente, o ambos, como resultado de condiciones provocadas, tales como descargas atmosféricas o switcheos en los sistemas de potencia.

Surge es un término usado para el ruido de alto voltaje o para transitorios de larga duración.

EMI (interferencia electromagnética) es el deterioro de una señal electromagnética deseada, ocasionado por un disturbio electromagnético (tal como el ruido eléctrico). Debido a que la EMI relacionada con el ruido a menudo ocurre en el rango de frecuencia de la radio, de 10 kHz a 30 MHz, el término RFI (interferencia de radio frecuencia) es a menudo usado en vez del término más general de EMI.

EMC (compatibilidad electromagnética) es una medida de la habilidad del dispositivo para desempeñar adecuadamente su función destinada dentro de un ambiente electromagnético dado sin afectar o ser afectado adversamente por otros dispositivos que comparten ese entorno.

El ambiente electromagnético es un conjunto de condiciones caracterizadas por:

- 1- La presencia de una o más clases de disturbios, así como la amplitud, energía, tiempo de elevación, frecuencia y duración de (l) (los) disturbio(s);
- 2- El efecto que estos disturbios provocan en el equipo instalado en este ambiente.

Ruido de Modo Común y Ruido de Modo Normal

Dependiendo de la fuente del ruido y del método de transmisión, el ruido aparecerá ya sea en el modo común o en el modo normal. Los dos modos se definen como sigue:

Ruido de Modo Común:

El Ruido que aparece entre el común (hilo de masa) y los conductores de corriente de línea y neutro, es conocido como ruido de modo común. La palabra "común" indica que las señales de ruido en cada uno de los conductores transportadores de corriente están en fase y son de igual magnitud; por lo tanto, no hay ninguna señal del voltaje generada entre estos conductores por el ruido.

El ruido de modo común, ilustrado en la Figura 1a, es referido algunas veces como ruido de modo - a - masa o como RFI asimétrica.

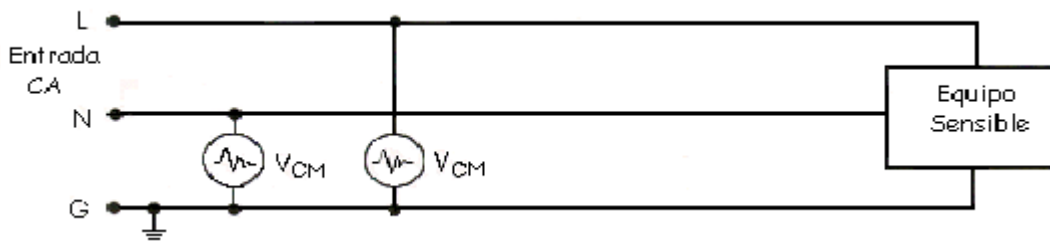


FIGURA: 1a. Ruido de Modo Común

Ruido de Modo Normal:

El Ruido que aparece entre los conductores transportadores de corriente de línea y neutro es llamado ruido de modo normal. El ruido de modo normal, ilustrado en la Figura 1b, es también conocido como ruido de modo transversal, ruido de modo diferencial, ruido de modo metálico, o como RFI simétrica.

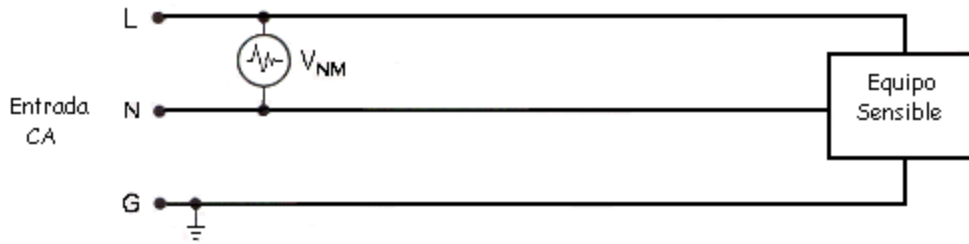


FIGURA 1b: Ruido Modo Normal.

Transformación de Modo Normal a Modo Común:

De los dos tipos de ruido, el ruido de modo común es el que ocasiona más problemas debido a que predomina mucho más que el de modo normal. Esto es porque el ruido casi siempre se transmite a través de un transformador de distribución como ruido de modo común, a pesar de que haya sido generado como de modo común o como de modo normal. En los transformadores, la energía de alta frecuencia pasa más fácilmente a través de la capacitancia interna de los devanados, que a través del acoplamiento inductivo entre ellos. El ruido de modo normal, por lo tanto, será transferido desde el primario hasta el secundario a través de la capacitancia interna de los devanados, y simultáneamente a todos los conductores del secundario, apareciendo como ruido de modo común en el secundario. Este fenómeno se ilustra en la figura 2.

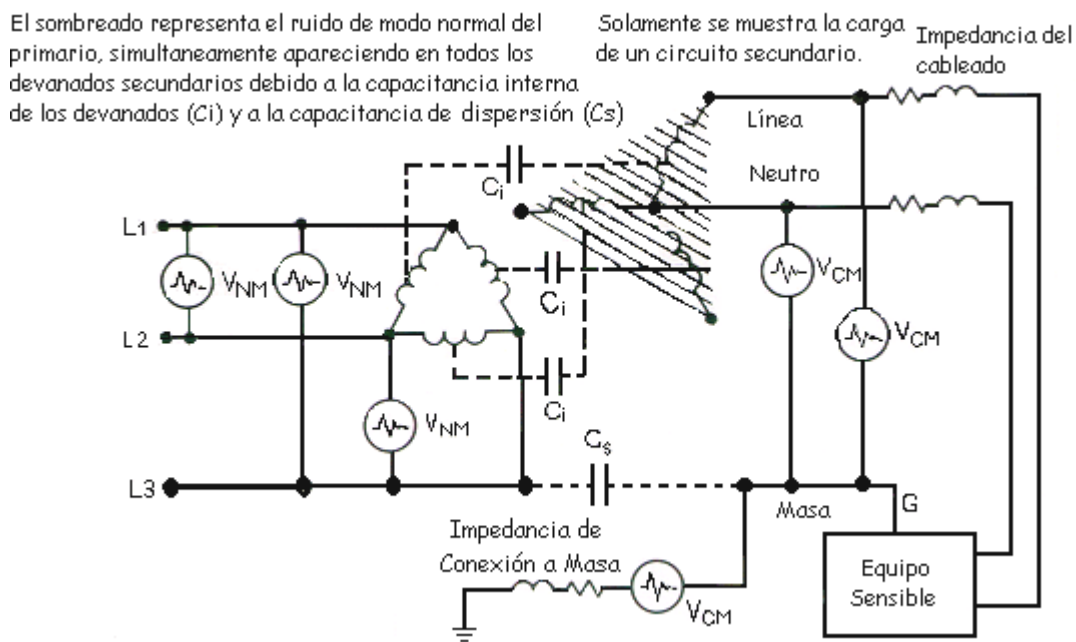


FIGURA 2: Transformador de Distribución Trifásico.- Ruido de Modo Normal en el Primario convertido a Ruido de Modo Común en el Secundario

Distorsión de la Forma de Onda por Ruido Inducido

Los disturbios por ruido, los cuales producen distorsión de la forma de onda, se pueden caracterizar en términos de uno o más de los parámetros siguientes:

- ◆ Lapsos de elevación y/o caída
- ◆ Señales oscilatorias o de impulsos sencillos
- ◆ Duración
- ◆ Velocidad de repetición
- ◆ Frecuencia
- ◆ Amplitud

La amplitud de la distorsión de una forma de onda es una indicación si la distorsión fue causada por ruido de bajo o de alto voltaje. La distinción entre ruido de alto voltaje (surges) y ruido de bajo voltaje es de especial importancia para nuestro análisis. Estos dos tipos de ruido requieren de métodos totalmente diferentes de atenuación, como se verá. A causa de sus características extraordinarias y de los diferentes requerimientos de atenuación, el ruido de alto y de bajo voltaje se analizan por separado en las secciones siguientes.

Ruido de Bajo Voltaje

Los disturbios de ruido cuyos niveles de voltaje de pico no exceden 2000 voltios son considerados normalmente como ruido de bajo voltaje. Los 2 tipos más comunes de disturbios de ruido de bajo voltaje son los spikes (impulsos) y los disturbios oscilatorios decrecientes.

Spikes (impulsos): Los spikes de voltaje o de corriente, algunas veces son referidos como transitorios rápidos, tienen tiempos de elevación rápidos --en el orden de 1 nanosegundo a 10 microsegundos. Estos disturbios ocurren sobre un espectro muy amplio de frecuencia, típicamente dentro de un rango de 4 kHz a 5 MHz y ocasionalmente alcanzan 30 MHz. Su duración es típicamente desde 100 nanosegundos a 150 microsegundos. Alcanzando el 150% o más del voltaje de pico de línea nominal, los spikes pueden también presentarse como irrupciones continuas tan largas como 1 ciclo del voltaje de línea. Un estudio echo por IBM encontró que ocurrieron spikes con una amplitud de 25% o más por encima del voltaje de pico nominal hasta en 185 veces por mes* (la magnitud de estos pulsos fue considerablemente menor a 1000 V). La figura 3 muestra los típicos spikes de voltaje.

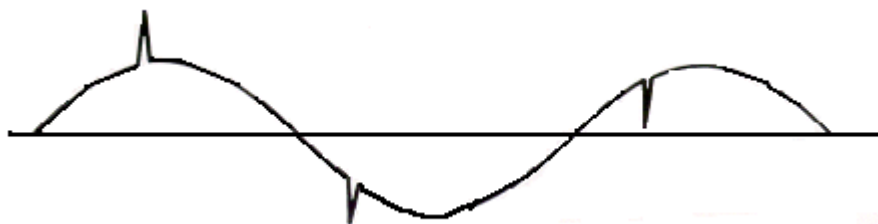


FIGURA 3: Spikes de Voltaje

* Apéndice G, Bibliografía -Allen and Segall, Hoja IEEE, Enero 74

Disturbios Oscilatorios Decrecientes:

Estos disturbios tienen un rango de frecuencia de 400 Hz a 5 kHz o más, con amplitudes que típicamente comienzan con hasta el 100% del voltaje de línea instantáneo. Ellos normalmente decrecerán, hasta 0 dentro de 1 ciclo del voltaje de fuerza de CA. El estudio de IBM encontró que los disturbios oscilatorios decrecientes con 15% o más por encima del voltaje de pico nominal, ocurrieron hasta 95 veces por mes. Los disturbios oscilatorios decrecientes se muestran en la figura 4, y son a menudo conocidos como transitorios de rebote o múltiples.

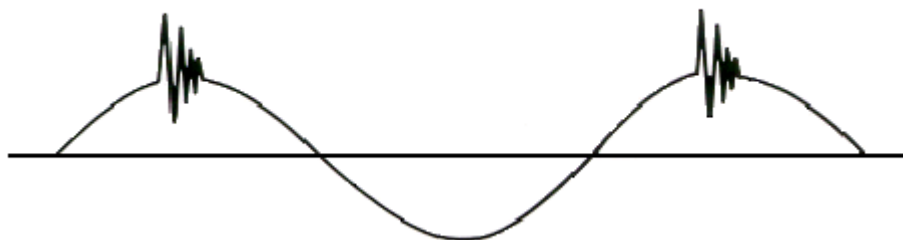


FIGURA 4: Disturbios Oscilatorios Decrecientes

Surges de Alto Voltaje

Se clasifican como surges de alto voltaje partir de 2000 voltios. La amplitud típica de los surges en un contacto de 120 V de CA está entre 100 V y 500 V. Los surges de 2500 V a 3000 V representan aproximadamente del 2 al 3 por ciento del total normal; cerca del 1 por ciento de los surges están entre 3000 V y 4000 V; Los surges de entre 4000 V y 6000 V son vistos solamente en muy raras circunstancias. Cerca del límite superior de 6000 V, ocurrirá un chispazo (arqueo entre conductores) debido a la separación típica dada entre los conductores en las tabllas terminales y en los contactos de 120 V a 240 V de los sistemas de distribución para interiores. La figura 5 muestra las 3 formas de onda típicas de los surges. Las formas de ondas del ruido unidireccional en la Figura 5 son características de las formas de onda inducidas por descargas atmosféricas en las acometidas de los edificios o en los alimentadores principales. Si existe una alta impedancia de la línea hacia la carga, una forma de onda de voltaje como la de la figura 5a será vista. Con baja impedancia en la línea, una forma de onda como la de la figura 5b será vista. Mientras que el estándar (C62.41-1980) de ANSI/IEEE muestra estas formas de onda a 100 kHz (figura 5c), es ampliamente reconocido que ellas ocurren sobre un amplio rango de frecuencia, desde 30 hasta 150 kHz.

(El apéndice B proporciona un análisis detallado del C62.41-1980 de ANSI/IEEE, como un estándar clave para establecer una guía para el estudio en la supresión de ruido.)

Ancho de Banda del Ruido

Adicionalmente a sus amplitudes, los disturbios por ruido también pueden clasificarse por las características de su espectro. Las características del espectro de una forma de onda de ruido determinan los requerimientos de atenuación de la frecuencia por los dispositivos de protección contra ruido. Acortar lo más ancho del tiempo de elevación de un pulso de ruido, representa la banda de energías que deben ser atenuados. Los spikes de voltaje,

por ejemplo, son considerados ruidos de banda amplia porque ellos contienen un espectro de potencia que atraviesa un muy amplio rango de frecuencia.

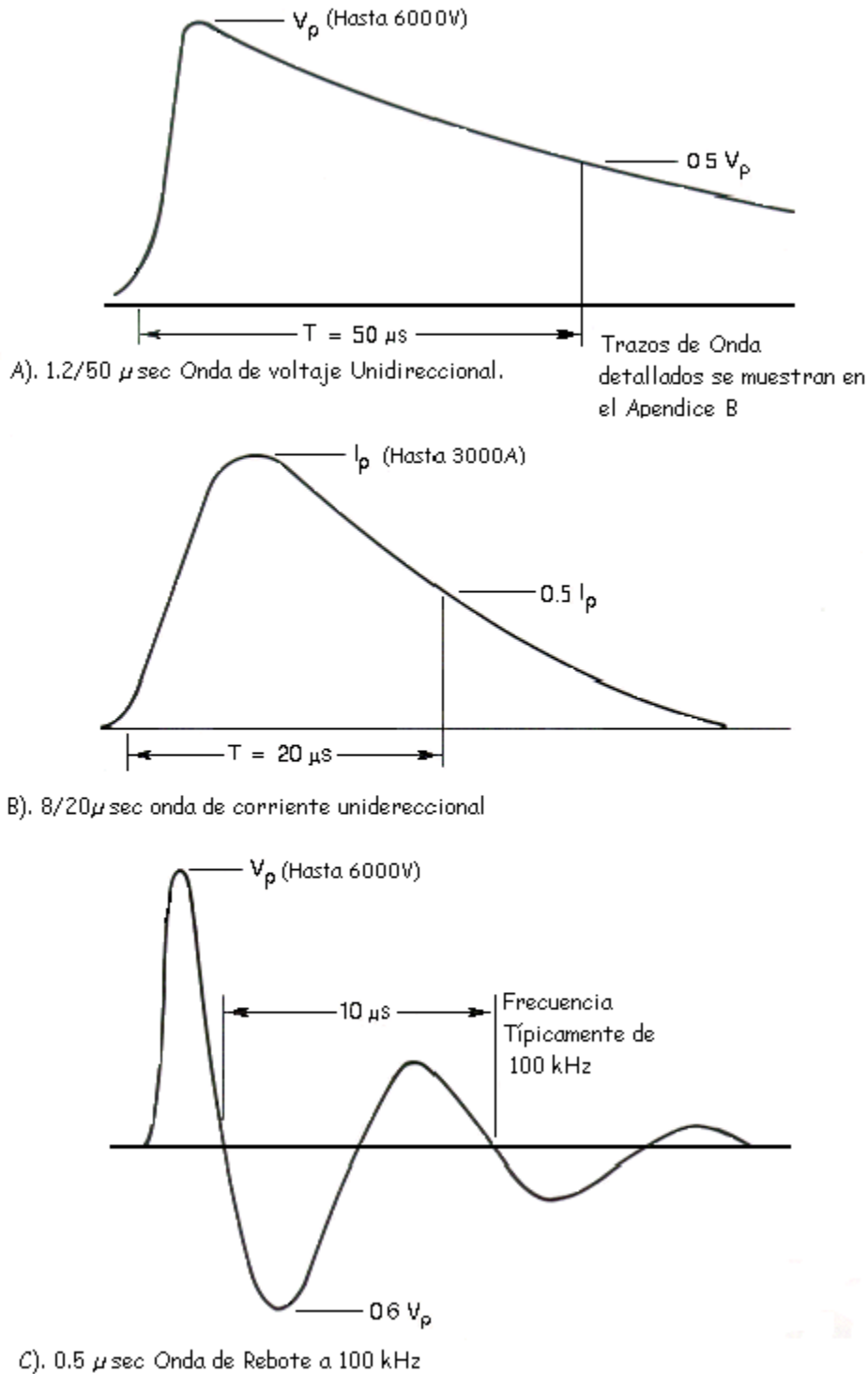
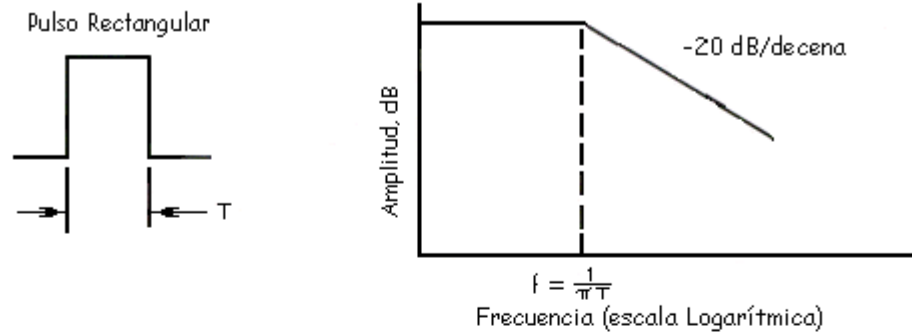


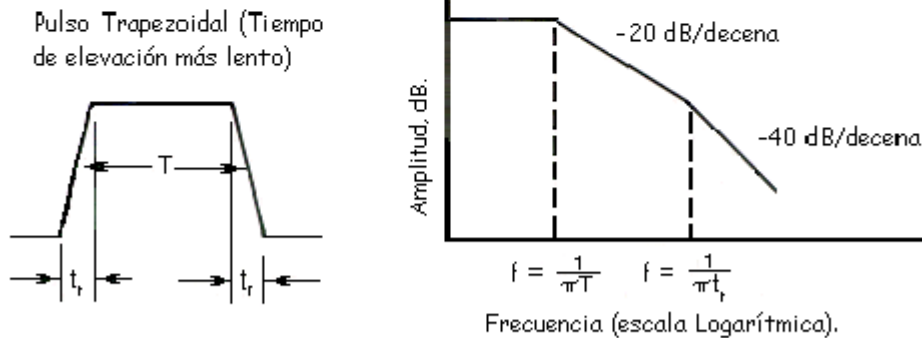
FIGURA 5: Formas de Onda Típicas Inducidas por Descargas Atmosféricas.

La figura 6 muestra las bandas del espectro de frecuencia para pulsos rectangulares y trapezoidales. Note que, como los lapsos de elevación y caída llegan a ser más largos, el rango de frecuencias que forman el pulso se hace más angosto.

El ruido de banda angosta tiene un contenido de frecuencia mucho más baja que el ruido de banda amplia (raramente ocupando más de 1 MHz de banda). (Ver el Apéndice C para una ilustración numérica de las características del espectro de una típica señal de ruido).



Los pulsos tienen un espectro de frecuencia continuo - la densidad de potencia del espectro disminuye a una velocidad de 20 dB/decena. Por ejemplo, con $T=1$ microsegundo, la amplitud de los componentes armónicos de frecuencias por encima de 318 KHz cae en 20 dB/decena.



Con tiempos de elevación y caída más lentos, la velocidad de disminución de la densidad de potencia del espectro se incrementa de 20 a 40 dB/decena. Por Ejemplo, si el tiempo de elevación es 10 nanosegundos, la amplitud de los componentes armónicos por encima de 31.8 MHz. cae en 40 dB/decena.

FIGURA 6: Bandas del Espectro de Frecuencia para Varias Formas de Onda.

2- CAUSAS DEL RUIDO ELECTRICO

El ruido eléctrico podría originarse a través de fuentes como los fenómenos naturales o las causadas por el hombre. Descargas atmosféricas, maquinaria industrial, dispositivos electrónicos de switcheo y la electricidad estática, pueden producir ruido eléctrico. Estos factores se examinan en los párrafos siguientes:

Descargas Atmosféricas

Las descargas atmosféricas pueden producir surges de ruido de gran amplitud y de alta frecuencia que contienen suficiente energía para destruir componentes electrónicos.

Descargas Atmosféricas y Ruido de Modo Común:

Las descargas atmosféricas pueden producir ambos tipos de disturbios, sean de modo común y de modo normal. Sin embargo, el componente de modo común está siempre presente. Es un hecho que las descargas atmosféricas siempre generan ruido del modo común en un sistema eléctrico (normalmente en los cables de las líneas primarias) por medio de un acoplamiento electrostático, electromagnético o conductivo tal como se explica abajo.

Acoplamiento Electrostático inducido por Descargas Atmosféricas:

Este acoplamiento es el resultado de un fuerte y rápidamente cambiante campo electrostático a todo lo largo de la ruta de conducción de la descarga atmosférica al planeta. Todas las líneas de potencia envueltas en este campo tienen ruido inducido en ellas por acoplamiento electrostático. Debido a que los hilos de corriente y de masa de las líneas trifásicas están físicamente cercanas una de otra, el acoplamiento es generalmente uniforme y todos los conductores son afectados igualmente; por lo tanto, un disturbio de modo común es originado.

Acoplamiento Magnético inducido por Descargas Atmosféricas:

Esto es el resultado de una corriente de descarga fluyendo hacia el planeta. Debido que el flujo de corriente produce un campo magnético, las ondas electromagnéticas están presentes en proporción a la cantidad de corriente de choque de la descarga atmosférica. El campo magnético induce corrientes en cualquiera de los conductores en paralelo que intercepte. Debido a que todos los hilos de fuerza y de masa de las líneas trifásicas pasan a través de este campo, los disturbios inducidos son de modo común.

Acoplamiento Conductivo inducido por Descargas Atmosféricas:

Un golpe directo de una descarga atmosférica en más de una de las líneas de fuerza produce el acoplamiento conductivo del ruido de modo común. Porque la descarga atmosférica golpea normalmente a todos los conductores, debido a su proximidad física cercana, el acoplamiento conductivo es esencialmente uniforme en todas las líneas y el disturbio resultante será del tipo de modo común.

En el total de los casos descritos arriba, las corrientes de modo común buscan una ruta hacia el planeta en algún punto de las líneas de transmisión o de una subestación de distribución.

Descargas Atmosféricas y Ruido de Modo Normal:

Las descargas atmosféricas también pueden causar disturbios de modo normal si el acoplamiento debido a un campo electrostático o electromagnético o de conducción directa no es uniforme. Sin embargo, es mucho más probable que la componente de modo común predominará cuando la descarga atmosférica afecta al sistema eléctrico.

La tabla 1 muestra los niveles de voltaje, corriente y energía que pueden ocurrir como resultado de una descarga atmosférica. (Información Adicional en la Guía de IEEE para Voltajes de Surge y Descargas Atmosféricas son dados en los Apéndices B y D, respectivamente).

Tabla 1: Niveles de Voltaje, Corriente y Energía Ocasionadas por Descargas Atmosféricas. (Por C62.41-1980 ANSI/IEEE)

Ubicación Clasificación	Impulso		Tipo de Muestra o Circuito de Carga	Energía (Joules) despositada en un Supresor con voltaje de Retención de	
	Forma de Onda	Amplitud de Exposición Media		500V (Sistema 120V)	1000V (Sistema 240V)
A. Salidas y Circuitos derivados largos	0.5 μ s-100kHz	6 kV	Alta Impedancia	-	-
		200 A	Baja Impedancia	0.8	1.6
B. Alimentadores principales, circuitos derivados cortos y centros de carga	1.2 X 50 μ s	6 kV	Alta Impedancia	-	-
		8 X 20 μ s	3 kA	Baja Impedancia	40
	0.5 μ s-100kHz	6 kV	Alta Impedancia	-	-
		500 A	Baja Impedancia	2	4

Ubicación Clasificación A ----- Los circuitos derivados largos son contactos o salidas que están a por lo menos 30 pies de un alimentador principal (a lo largo de un circuito derivado), o a 60 pies de la acometida del servicio

Ubicación Clasificación B --- Todos los tableros de distribución, los sistemas de alimentadores y barras en plantas industriales, las salidas para servicio pesado con conexiones cortas a la acometida del servicio, y sistemas de alumbrado en edificios comerciales se incluyen en esta categoría.

Capacitores para la Corrección del Factor de Potencia

En líneas de servicio eléctrico y en los sistemas industriales de fuerza, los bancos de capacitores se conectan y desconectan para compensar el factor de potencia retrasado de los motores de inducción. Este switcheo provoca oscilaciones violentas que acarrearán corrientes y voltajes más bajos (pero de duraciones mayores) que las sufridas por los surges inducidos por descargas atmosféricas. Las frecuencias de oscilación están en un rango de 1 kHz a 20 kHz.

Dispositivos Eliminadores de Fallas

Una causa frecuente de ruido es la operación intencional de restauradores automáticos de circuitos. Estos son dispositivos en los sistemas de distribución primarios que detectan sobrecorrientes (generalmente debido al arqueado entre dos líneas de fuerza), abren sus contactos, y entonces recierran siguiendo un plazo de tiempo predeterminado. Si la falla aún persiste en el circuito cuando recierra, la secuencia de disparo y recierre es repetida un número de veces predeterminado hasta que el restaurador se queda en la posición de "bloqueado" o de "cierre mantenido".

Un efecto similar es producido cuando se funde un fusible o por la apertura de un interruptor durante una falla en el sistema. Cuando el fusible opera, la energía almacenada en la línea abajo (entre el interruptor de corriente y la carga) crea altos voltajes que son iguales a $L(di/dt)$, donde L es la inductancia de la línea y di/dt es la velocidad de disminución (muy rápida) de la corriente. Estos voltajes pueden fácilmente acoplarse en alimentadores distintos al

directamente afectado. Los interruptores de vacío y los fusibles de apertura rápida que interrumpen corrientes de falla en menos de 1 milisegundo son más propensos a crear este efecto que los interruptores en aire.

Dispositivos de Switcheo Electrónico

La potencia de CA industrial y comercial es a menudo controlada por circuitos que emplean SCRs y otros elementos semiconductores de switcheo -ya sean como los controladores de voltaje de CA, los rectificadores de fase controlada, atenuadores de lámparas, controladores de calefactores, controladores de motores, etc. La acción de switcheo, en estos circuitos, es muy rápida. La corriente que fluye en los circuitos y cargas entra y sale por períodos de tiempo cortos (en el orden de unos pocos microsegundos). Esto ocasiona spikes de voltaje a través de varias inductancias en el circuito de control y en la carga (debido a $L(di/dt)$, en donde L es la inductancia en la línea y di/dt es la velocidad del cambio de la corriente). El ruido generado de esta manera es a menudo conducido de regreso a la línea de servicio eléctrico de CA y por lo tanto hacia las otras cargas.

Equipo Electrónico

Una fuente de disturbios semejantes es el equipo electrónico sensible (el cual, irónicamente, puede necesitar protección contra ruido). Los circuitos digitales de gran velocidad son el corazón de todas las computadoras, y ellos también son usados en muchas clases de dispositivos médicos y de instrumentación de procesos, así como también de comunicaciones. Ellos pueden causar algunos disturbios de alta frecuencia que son introducidos hacia la línea de servicio de CA, aunque algunas de estas frecuencias ya son reglamentadas por agencias tales como la FCC. (Ver Apéndice A para un listado de FCC y otras regulaciones).

Electricidad Estática

La electricidad estática es generada por el movimiento de electrones, el cual ocurre cuando dos materiales diferentes (tal como alfombras y calzado) entran en contacto uno con el otro y después son separados. Si los dos materiales son buenos conductores, los electrones en exceso en uno de ellos, volverán al otro antes de que la separación sea completada. Puede ser que uno de ellos o ambos sean aislantes y, si no están conectados a masa, ambos se cargarán porque algunos electrones en exceso quedarán atrapados en uno de ellos y una deficiencia de electrones aparecerá en el otro al darse la separación.

Consecuencias en el Desempeño del Equipo:

La diferencia de voltaje durante la separación de los dos materiales puede alcanzar varios miles de voltios, y la descarga de este voltaje es, en efecto, una descarga de un rayo en miniatura, aunque el contenido de la energía sea mucho menor. La descarga estática a menudo ocurre físicamente cerca del equipo sensible y crea funcionamientos defectuosos -de vez en cuando dañando los circuitos de los semiconductores y sus dispositivos.

Medidas de Protección:

Los problemas que resultan de la electricidad estática requieren medidas de prevención especiales. El equipo electrónico puede ser insensibilizado a la descarga estática en las etapas de diseño (medidas pasivas), y medidas de protección pueden ser tomadas después de que el equipo ha sido instalado (medidas activas). Las medidas activas no son a menudo empleadas porque los usuarios del equipo no están familiarizados con ellas. Las medidas pasivas, por lo tanto, deben ser empleadas por los fabricantes de equipo hasta donde sea posible.

Medidas Pasivas:

Los procedimientos recomendados para proteger contra descarga estática después de la instalación del equipo incluyen el blindaje de éste con material conductor (las envolventes plásticas pueden ser cubiertas con una capa conductiva); hay que proteger (o preferiblemente evitar) las aberturas mayores a 4 pulgadas en los gabinetes del equipo; rellenar las uniones de las terminaciones y los puntos de separación de las guardas con blindaje para alta frecuencia o separarlos por un mínimo de 4 pulgadas; Tener por separado la conexión a masa de los controles de operación que son conductivos; conectar eléctricamente las armazones metálicas y sus partes; Proteger las entradas y salidas sin blindaje con filtros de alta frecuencia.

Medidas Activas:

La humedad ambiental debe ser por lo menos del 40%; alfombras y ropa del personal operador deberán ser de materiales naturales, no sintéticos; las alfombras de material sintético, si se usan, deberán tener un soporte conductor; los operadores también deben usar calzado conductor para aumentar la conexión a masa; el aire debe ser ionizado para incrementar la conductividad; materiales antiestáticos deberán usarse hasta donde sea posible para aumentar la conductividad. Además, los componentes sensibles deberán ser embarcados en contenedores hechos de plástico conductor. (Deberá hacerse notar que los acondicionadores de fuerza de CA no pueden reducir la sensibilidad del equipo a la electricidad estática si la descarga ocurre después del acondicionador).

Otras Fuentes de Ruido Eléctrico

La tabla 2 proporciona una lista de las fuentes más comunes de ruido eléctrico.

3- COMO INGRESA EL RUIDO ELECTRICO A LOS CIRCUITOS SENSIBLES

El ruido es transferido desde su origen hasta el equipo crítico ya sea a través de un acoplamiento electromagnético o capacitivo, o siendo conducido directamente por la línea de fuerza de CA. Debido a que estas diferentes formas de acoplamiento requieren métodos de protección diferentes, cada una de ellas será analizada por separado en los párrafos siguientes.

Acoplamiento Electromagnético

El acoplamiento electromagnético es un acoplamiento inductivo que ocasiona que un flujo de corriente sea inducido en un conductor o grupo de conductores. Líneas de fuerza desde la fuente de electromagnetismo cortarían los conductores afectados e inducirán un flujo de corriente proporcional y opuesto hacia la carga.

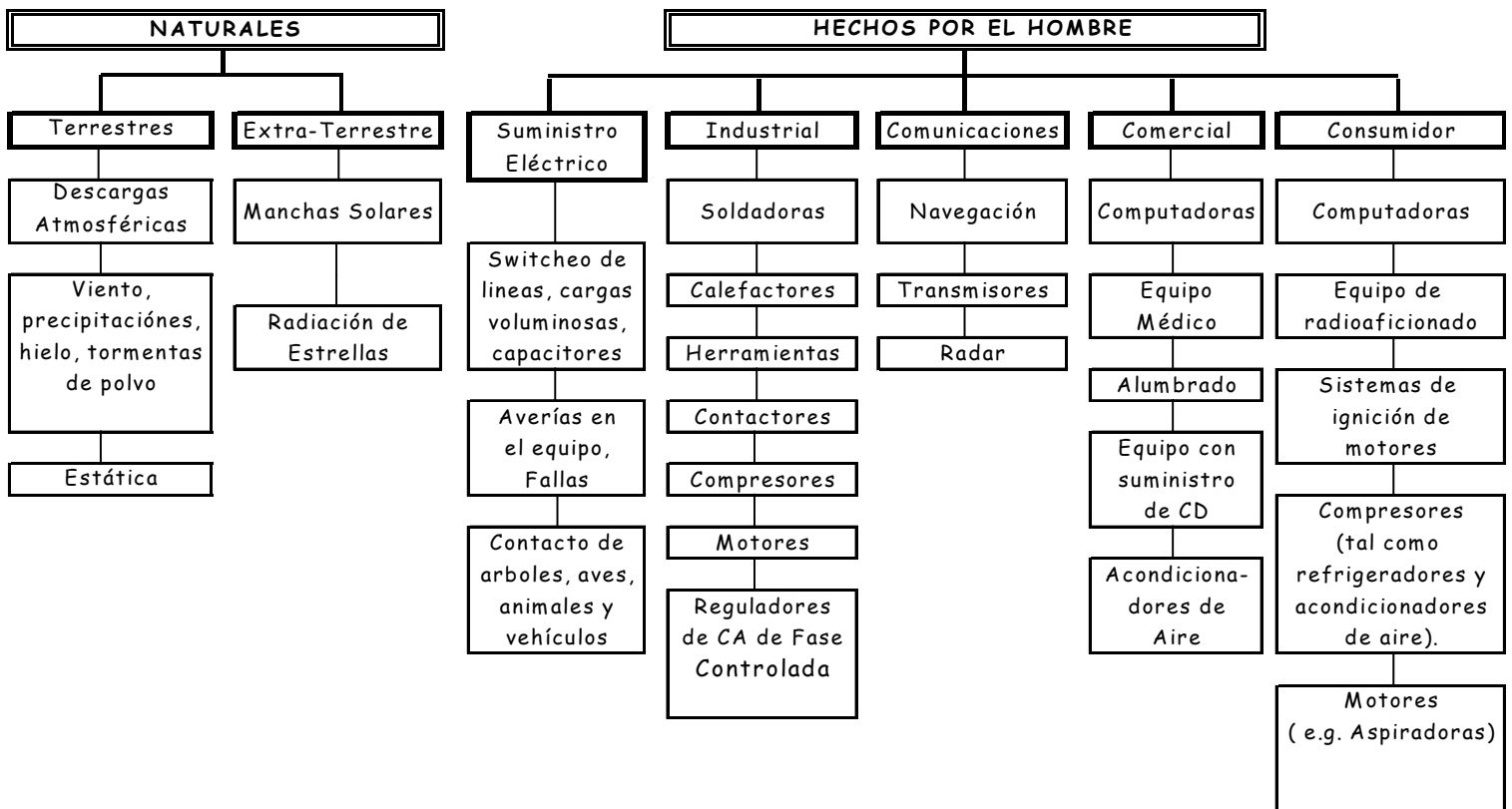
Acoplamiento Capacitivo

Todos los conductores que transportan corriente producen campos magnéticos y están también acoplados capacitivamente con los conductores de alrededor. Mientras el acoplamiento electromagnético es el resultado de un flujo de corriente, el acoplamiento capacitivo es el resultado de una señal de voltaje. El ruido puede ser acoplado capacitivamente al hilo de fuerza de CA o a los circuitos que están expuestos debido a su proximidad con una influencia electrostática.

Conductancia Directa

La principal fuente de los problemas de ruido para equipo usado en la industria y comercio es la interferencia conducida a través de las conexiones de fuerza de CA. Esto incluye la interferencia introducida en la línea por acoplamiento electromagnético y capacitivo así como también el ruido introducido desde fuentes directamente conectadas al sistema eléctrico.

Tabla 2: Fuentes de Ruido Eléctrico



PARTE II

LOS EFECTOS DEL RUIDO EN EL DESEMPEÑO DEL EQUIPO

Esta sección trata los temas siguientes:

- ◆ *Sensibilidad del Equipo al Ruido Eléctrico*
- ◆ *Efectos de los Surges de Alto Voltaje*
- ◆ *Efectos del Ruido de Bajo Voltaje*
- ◆ *Protección a través del Diseño del Equipo*

El equipo eléctrico tal como computadoras y sistemas basados en ordenadores son especialmente sensibles a los disturbios por ruido debido a dos razones:

- 1- Las computadoras contienen componentes electrónicos que pueden ser dañados por surges de alta energía inducidas por descargas atmosféricas;
- 2- Las computadoras contienen una red de circuitos lógicos sensibles que pueden confundir señales de ruido con señales legítimas de datos. Cuando esto acontece, el problema es a menudo diagnosticado como "**VIRUS DE SOFTWARE**". Algunas de las manifestaciones más comunes de problemas de lógica provocados por el ruido comprenden:

- ◆ **Corrupción de datos**
- ◆ **Funciones erróneas de comando**
- ◆ **Variaciones cortas en las señales de cronometraje**
- ◆ **Cambios en el procesamiento de indicaciones**
- ◆ **Cambios en el manejo de indicaciones de las memorias intermedias**
- ◆ **Niveles de señal erróneas en amplificadores**
- ◆ **Pérdida de la sincronía en circuitos enlazados**
- ◆ **Inestabilidad en el control de servomecanismos**
- ◆ **Pérdida de información del proceso**
- ◆ **Activación inapropiada de circuitos de protección**
- ◆ **Figuras de onda incorrectas en redes de filtro activo, osciladores, etc.**

1- EFECTOS DE LOS SURGES DE ALTO VOLTAJE

Como se estableció previamente, los surges de alto voltaje (alta energía) pueden dañar a los componentes electrónicos. Típicamente en estos componentes el suministro eléctrico es del modo conmutado a CD.

Este tipo de suministro de fuerza es usado comúnmente en el equipo electrónico, porque es una energía eficiente, económica, y de volumen y peso muy pequeños en el rango de 50 vatios a 1 kilovatio de potencia. Virtualmente todos los suministradores de fuerza de modo conmutado en uso, son del tipo convertidor fuera de línea en donde la línea de servicio de CA es rectificadora directamente sin aislar o reducir el voltaje de CA por medio de un transformador. Esto se muestra en la Figura 7.

Vulnerabilidad de los Suministradores de Fuerza de Modo Conmutado a CD

Un convertidor típico de modo conmutado emplea una de varias configuraciones o diseños básicos de circuitos. Todos los diseños comúnmente usados parten de ciertas características las cuales nos permiten emitir opiniones generales acerca de su susceptibilidad al ruido eléctrico. Tales características comunes comprenden: un puente rectificador conectado directamente a la línea, un transformador compacto de alta frecuencia que proporciona el aislamiento entre la línea y la salida de CD, un circuito de control modulador del ancho de pulso (PWM), y uno o más transistores de potencia. La figura 7, muestra un diseño representativo conocido como inversor de medio puente.

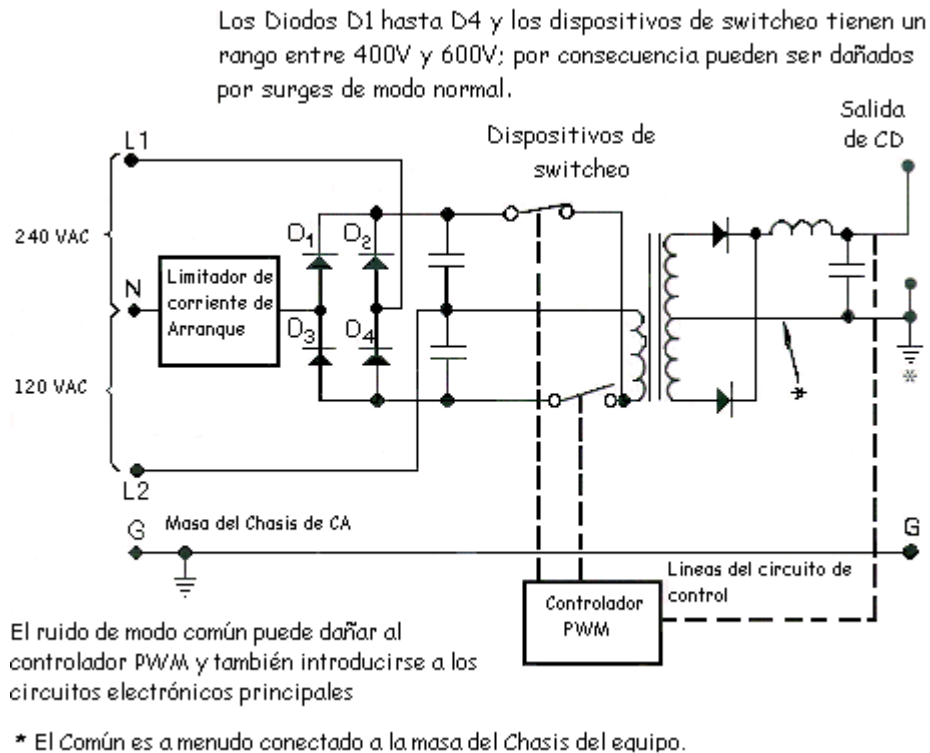


FIGURA 7: Típico Suministro de Fuerza de Modo Conmutado de Fuera de Línea

Los surges de alto voltaje y el ruido de bajo voltaje pueden causar daño a su mismo suministro de fuerza o degradar la calidad de su salida de manera que el equipo electrónico sea dañado. Los surges de voltaje pueden dañar directamente el puente de entrada o elevar el voltaje rectificado lo suficiente para causar la descompostura del transistor(es) de switcheo. El ruido de modo común puede afectar partes de los circuitos analógicos sensibles del PWM, teniendo como resultado la pérdida del circuito de control. Este funcionamiento defectuoso puede tener como resultado la avería del suministro de fuerza y/o la pérdida de la regulación en la salida. Además, el ruido de modo común y de modo normal de alta frecuencia, pueden acoplarse desde el primario hasta el secundario del transformador y aparecer en la salida de CD.

2 - EFECTOS DEL RUIDO DE BAJO VOLTAJE

Los circuitos electrónicos que son usados en computadoras o instrumentación constan de dispositivos digitales y analógicos que procesan las señales eléctricas. Los componentes digitales pueden ser simplemente una serie de compuertas (tal como los circuitos integrados que contienen varios inversores), o un microprocesador que contiene una unidad central de procesamiento, memoria, y controladores de entrada y salida seriales y paralelos. Mientras que una serie de compuertas es un dispositivo integrado a pequeña escala (SSI, Small-Scale Integrated), el microprocesador es un dispositivo integrado a gran escala (LSI, Large-Scale Integrated). La diferencia entre ellos, desde el punto de vista del ruido, es de poca importancia debido a que el microprocesador es un circuito con elementos que comprenden miles de compuertas, con un desempeño muy semejante al de las compuertas de un dispositivo SSI. Por lo tanto, el siguiente análisis sobre la susceptibilidad e inmunidad en una sola compuerta aplica a cualquier dispositivo digital, independientemente de su función o del total de sus componentes.

Margen del Ruido

Una típica compuerta es un inversor (un inversor produce una respuesta lógica de "0" cuando su entrada es un "1" y viceversa). Para el propósito de este análisis, la compuerta a estudiar es de la familia de Lógica Transistor - Transistor (TTL), aunque los conceptos aplican a todas familias de lógicos. La alimentación de control para este TTL es generalmente +5 VCD referenciados al común o circuito de masa. La compuerta reconoce voltajes de entrada superiores a 2 VCD como altos o como "1" lógico, y los voltajes de entrada por abajo de 0.8 VCD como bajos o como "0" lógico. El voltaje de salida de la compuerta podría ser un mínimo de 2.4 VCD para un "1" lógico o un máximo de 0.4 VCD para un "0" lógico. La diferencia de los voltajes de entrada y de salida para el mismo nivel de lógica determina el margen del ruido: 0.4 VDC para el TTL. La energía del ruido, la cual causa un cambio de voltaje mayor que el margen, podría producir un cambio erróneo de la respuesta lógica.

Efectos Adversos en el Cronometraje de las Formas de Onda

Se puede creer que un spike de voltaje que tome más de 0.4 VCD, afecta adversamente la operación de un cierto número de compuertas configuradas como circuito. Esto es correcto si el circuito está detenido - si no está dándose un switcheo. En la práctica, sin embargo, todos los circuitos están switcheando progresivamente, con relojes internos generando formas de onda cronometradas a altas frecuencias. En estos circuitos, hasta los disturbios de muy bajo voltaje sobrepuestos a la forma de onda de la señal o del reloj pueden causar el switcheo demorado o prematuro de una o más compuertas. Note que mientras la señal del ruido puede no ser suficiente para causar un cambio de indicación, sí puede añadirse o restarse a la señal de entrada (a la compuerta), lo suficiente para cambiar las secuencias completas de cronometraje, que a su vez pueden ocasionar salidas erróneas de lógica.

Circuitos Analógicos

En el caso de circuitos análogos, amplificadores operacionales son usados en voltaje, como comparadores, integradores, diferenciadores, etc. En un integrador, por ejemplo, hasta una señal de 10 milivolts puede causar que los amplificadores operacionales integren (sobre un período de tiempo) y cambien su salida lo suficiente para causar errores. En general, los circuitos análogos de salida única tienen poca tolerancia al ruido de masa, debido a que ellos no pueden diferenciarlo de las señales esperadas o normales.

3- PROTECCION MEDIANTE EL DISEÑO DE EQUIPO

Los disturbios por ruido en un ambiente electromagnético están acoplados desde la fuente hacia la carga por radiación, inducción y conducción. Las medidas necesarias en el diseño del equipo para suministrar protección serán diferentes, según la fuente de interferencia, tal y como se describen en los párrafos siguientes:

Interferencia Radiada

El diseño apropiado del equipo puede reducir enormemente los efectos adversos del ruido radiado, el cual es transferido a través del medio por el campo electromagnético. Los efectos adversos en el equipo dependerán de:

- 1- La orientación que tiene la energía cuando sale de la fuente;
- 2- Las pérdidas en los medios de propagación;
- 3- La susceptibilidad del dispositivo afectado por las características de la energía radiada.

Medidas de Diseño para Proteger contra Interferencia Radiada:

La susceptibilidad a la interferencia radiada de la mayoría de los equipos, incluyendo micro computadoras y Mini computadoras, se determina durante las etapas del diseño. Precauciones tales como blindaje efectivo de los circuitos electrónicos de nivel bajo o el desacople de los cables de interconexión deben ser una parte integral del sistema completo. Una vez que un dispositivo con alta susceptibilidad es instalado, no es nada práctico, si no es que imposible, proporcionar inmunidad al ruido radiado a menos que el equipo sea colocado en un área controlada tal como un cuarto de computadoras.

Blindaje de Protección:

Un contribuyente común a los problemas de ruido radiado es el cordón de fuerza de CA. Este a menudo es una eficiente antena debido a que su longitud puede aproximarse a un cuarto de la longitud de onda de las frecuencias de EMI presentes en equipo digital y en los suministradores de fuerza de modo conmutado. El ruido también puede ser introducido dentro de los cables o circuitos expuestos a través de un acoplamiento capacitivo de fuentes de voltaje cercanas. El blindaje, si está apropiadamente conectado a masa, es la protección más efectiva contra ambos acoplamientos, electromagnético y capacitivo.

Ruido Conducido

La fuente principal de problemas por ruido en equipos usados en el comercio y la industria es la interferencia conducida, acoplada a través de las conexiones del servicio de fuerza de CA. Aunque algunos fabricantes de equipo ofrecen una protección integrada, limitada, contra disturbios por ruido conducido, los costos competitivos y las consideraciones del dimensionado del equipo a menudo obligan a los fabricantes a dejar fuera de sus diseños la protección por ruido. Por lo tanto, usualmente los dispositivos de protección deben ser instalados en campo.

* * *

Se ha mostrado que el ruido eléctrico entra en los circuitos sensibles por cualquiera de las siguientes formas:

- 1- Acoplamiento Inductivo
- 2- Acoplamiento Capacitivo
- 3- Conducción Directa

También se ha demostrado que el ruido puede causar graves problemas en el equipo, y que van desde errores de lógica hasta daños a componentes. Existen varias soluciones para estos problemas, incluyendo:

- 1- Técnicas de conexión a masa que aminoran la generación y propagación del ruido;
- 2- El uso de blindaje para minimizar la susceptibilidad al acoplamiento capacitivo o inductivo;
- 3- El uso de dispositivos acondicionadores de fuerza de CA para eliminar los efectos perjudiciales del ruido entrante a través del cordón de CA (especialmente para el equipo que debe ser usado permanentemente en una construcción que no tiene conexión a masa adicional o blindaje disponible).

En los cuartos para computadoras y en otras áreas dedicadas para equipo electrónico sensible, todas las tres propuestas anteriormente mencionadas se deben de incorporar. Como se dijo anteriormente, el ruido conducido por los cables es más problemático que el ruido introducido por acoplamiento inductivo o capacitivo.

BIBLIOGRAFIA

- Allen G.W., and Segall, G.**, Monitoring of Computer Installations for Power Line Disturbances, IEEE PES Winter Meeting, Conference Paper C74 199-6, January, 1974.
- ANSI/IEEE**, Guide for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, ANSI/IEEE C62.41-1980, American National Standards Institute, New York, NY.
- Bodle, D.W., Ghazi, A.J., Syed, M., and Woodside, R.L.**, Characterization of Electrical Environment, University of Toronto Press, Toronto, 1976.
- Dang, Gurchan S.**, Ultra-Isolation Devices Yield Better Protection from Electrical Noise, Computer Technology Review, Spring 1985.
- Denny, Hugh W.**, Grounding for the Control of EMI, Don White Consultants, Inc., Gainesville, VA, 1983.
- Goldstein, M., and Speranza, P.D.**, The Quality of U.S. Commercial AC Power, INTELEC International Telecommunications Energy Conference, Washington, D.C., October, 1982.
- Keiser, B.E.**, Principles of Electromagnetic Compatibility, Artech House, Inc., 1981.
- Key, Lt. Thomas S.**, Diagnosing Power Quality-Related Computer Problems, IEEE Transactions on Industry Applications, July/August, 1979.
- Mardiguian, Michel**, Interference Control in Computers and Microprocessor Based Equipment, Don White Consultants, Inc., Gainesville, VA, 1984.
- McPhee, John**, The Effects of Electrical Power Variations Upon Computers: An Overview, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., October 1982.
- Ott, Henry W.**, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, John Wiley & Sons, New York, 1976.
- Tucker, Ruxton**, The Glitch Stops Here, Computer Design, February, 1982.
- White, Donald R.J.**, Electromagnetic Interference and Compatibility Vol. 2, Don White Consultants, Inc., Germantown, MD, 1976.