

Dimensionamiento y especificación del filtro de corriente armónica de 5º orden en la Industria Mittal

6.1 Dimensionamiento del filtro de 5ª armónica de 1.5 [MVAR] en 4.16 [kV], 45 MVAcc, 6.245 KAcc, de la Industria Mittal

Con base al requerimiento de un filtro de 5ª armónica de 1.5 [MVAR] en el bus 9 de la industria Mittal, a una tensión de 4.16 KV, determinado por los estudios de flujos de potencia y análisis armónico del sistema eléctrico de la planta, se dimensionaron y especificaron los componentes de dicho filtro como se indica a continuación.

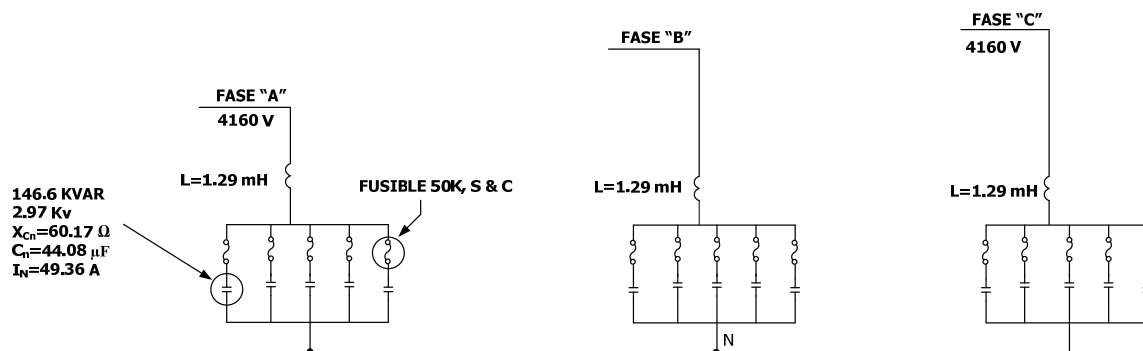
6.1.1 Componentes del filtro

Filtro formado por banco de capacitores trifásico conectado en estrella flotante, formada cada fase por un grupo serie con 5 unidades capacitoras (UC) en paralelo de 146.6 KVAR en 2970 V en serie con un reactor de filtro de 1.29 mH.

El banco de capacitores al incluirle un reactor en serie se le aplica un voltaje mayor al del sistema de potencia, así que debe sobredimensionarse en voltaje y potencia ya que en éste caso, la tensión aumenta hasta en un 5 % con respecto al bus al que está conectado.

Las Unidades Capacitoras (U.C.) que forman el Banco de Capacitores de 1.5 [MVAR], en 4.16 [kV] de la Industria Mittal.

FILTRO DE 5a ARMÓNICA



Por medio de una serie de iteraciones podemos, deducir la tensión nominal de las unidades capacitoras por lo que consideramos un valor mayor a la tensión del bus donde se encuentra conectado.

El filtro está conectado en estrella flotante y la tensión de la frecuencia fundamental del banco de capacitores se calcula como:

La tensión de frecuencia fundamental del banco de capacitores considerando el reactor de filtro es:

$$U_{c(1)} = (U_2 / \sqrt{3}) \cdot n^2 / (n^2 - 1)$$

Donde 'n' es la sintonía del filtro, es decir., $n = f_0 / f_{(1)} = 4.9 f_0$, siendo la frecuencia de sintonía (294 Hz) y $f_{(1)}$ la frecuencia fundamental (60 Hz).

La máxima tensión de frecuencia fundamental de los capacitores incluyendo el voltaje máximo de operación del sistema y el reactor del filtro es:

$$U_{c(1),max} = 1.06 \left(\frac{4.16}{\sqrt{3}} \right) \left(\frac{4.9^2}{4.9^2 - 1} \right) = 2.656 \text{ kV}$$

La tensión por corrientes armónicas generadas por los controladores de velocidad de los motores es $I_5 = 100 \text{ A}$ e $I_7 = 50 \text{ A}$:

$$\sum_{n=2}^{33} U_{c(n)} = 314 \text{ V}$$

La tensión nominal del capacitor será:

$$\sum_{n=2}^{33} U_{c(1),max} + \sum_{n=2}^{33} U_{c(n)} = 2970 \text{ V}$$

Esto da como resultado la siguiente potencia reactiva nominal para el banco de capacitores trifásico (se considera una tolerancia de fabricación de unidades capacitadoras de +3%):

$$Q = 3 \cdot U_{C,rated}^2 \cdot \omega_{(1)} \cdot C = 2.265 \text{ MVAR}; \quad \text{donde: } C = 226.9 \text{ microfarad}$$

Cálculo (teórico) de los parámetros de los componentes del filtro de 5ª armónica, sintonizado a 4.9 PU:

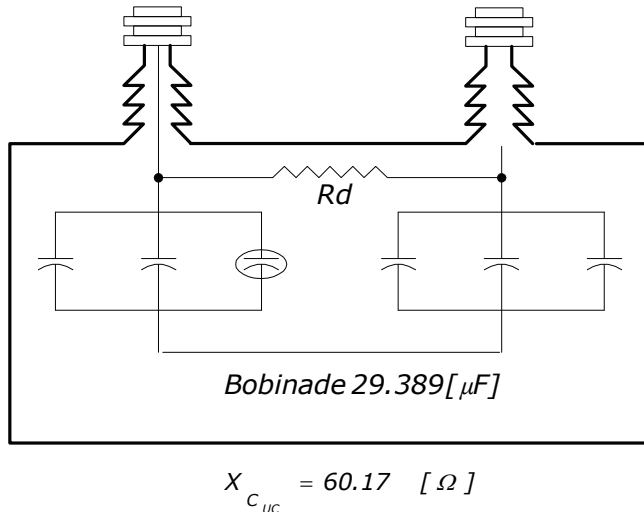
$$X_{eff} = \frac{4.16^2}{1.5} = 11.537 \ \Omega \quad ; \quad X_C = \frac{4.9^2}{4.9^2 - 1} 11.537 = 12.0384 \ \Omega$$

$$C = (220.338 \ \mu\text{F}) (1.03) = 226.9 \ \mu\text{F}$$

Esta capacitancia se considera debido a que el fabricante considera una tolerancia de 3 %

6.1.2 Especificación de la unidad capacitadora utilizando el concepto de gradiente de potencial

Unidad Capacitora de 95.729 [kVAR] y 2.4 [kV] nominales formada por 2 grupos serie con 3 bobinas en paralelo por grupo serie, con 2 películas de polipropileno, de 10 [μm] de espesor, entre bobinas como dieléctrico.



Tensión por bobina

$$V_B = \frac{2401}{2} = 1200[\text{V}]$$

Gradiente de potencial a tensión nominal de la Unidad Capacitora

$$G = \frac{1200}{2(10)} = 60[\text{V}/\mu\text{m}]$$

Capacitancia Unidad Capacitora (UC)

$$C_N = \frac{0.095729}{(2.4)^2 (377)} = 44.08[\mu\text{F}]$$

$$C_N = \frac{C_B B_P}{B_S}$$

Capacitancia por bobina

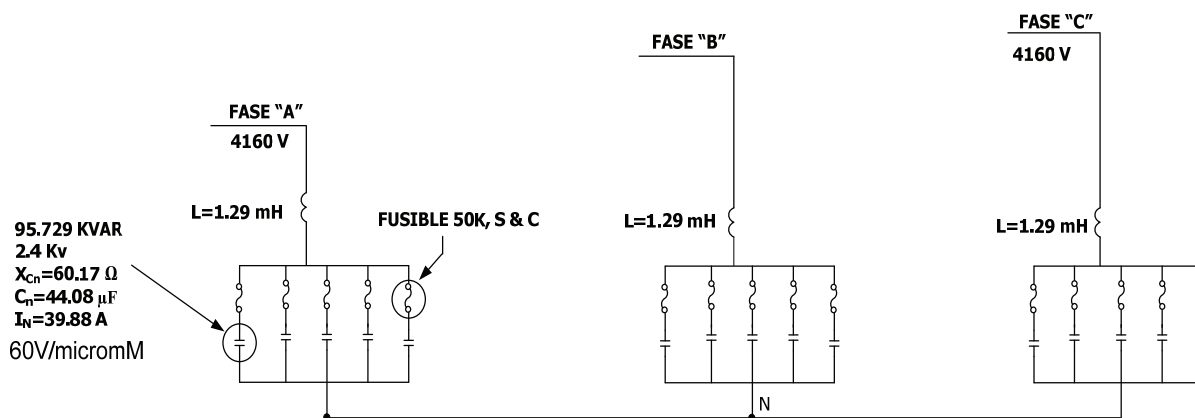
$$C_B = 44.08 \left(\frac{2}{3} \right) = 29.389[\mu\text{F}]$$

La Unidad Capacitora de 95.729 [kVAR], 2.4 [kV] con gradiente de potencial a tensión nominal de la unidad capacitadora de 60 [V/ μm] es equivalente a una de 146.6 [kVAR] y 2.97 [kV] nominales según la Norma IEC 60871-1,2.

El gradiente de operación máximo de la unidad capacitadora (UC) es de 75 V/ μm , si a la UC de 95.729 KVAR-2.4 KV se le aplica una tensión de 1.2375 PU (voltaje de frecuencia fundamental mas armónicos) es decir de 1.2375 (2.4) = 2.97 KV se le aplicaría un gradiente de potencial de 1.2375 (60) = 74.25 V/ μm que es menor a 75 V/ μm (de aguante) y suministraría una potencia reactiva de 1.2375² (95.729) = 146.6 KVAR, por tanto, se demuestra la equivalencia entre especificar unidades capacitadoras sobredimensionadas en potencia y voltaje o UC para la potencia y voltaje nominales con su gradiente de potencial de operación a voltaje nominal y su gradiente de operación máximo de aguante.

Dimensionamiento del filtro de 5ª armónica de 1.5 MVAR-4.16 KV formado con unidades capacitadoras con gradiente de potencial de operación de 60 V/ μm .

FILTRO DE 5a ARMÓNICA



6.1.3 Reactor del filtro para la 5ª armónica

El reactor de filtro se determina a partir de la potencia reactiva requerida:

El banco de capacitores trifásico debe ser de 2265 KVAR para 2970 V, al ser sobredimensionados para poder considerando un voltaje máximo en el bus de 1.06 pu. Mientras que la capacidad del filtro se sobredimensiona con el voltaje máximo posible en dicho bus debido a las armónicas, mientras que tomamos en cuenta la tolerancia del fabricante que aumenta en un 3 % la capacitancia del banco por lo que de esta manera se dimensiona considerando que cada fase se encuentra formado por un grupo serie de 5 unidades capacitadoras de:

$$\frac{2265}{(1.03)15} = 146.6 \text{ KVAR}$$

Parámetros eléctricos de unidades capacitadoras de 146.6 KVAR-2.97 KV, $X_{cn} = \frac{2.97^2}{0.1466} = 60.17 \Omega$; $C_n = 44.08 \mu\text{F}$; $I_n = 49.36 \text{ A}$, $X_{c\text{real}} = \frac{60.17}{1.03} = 58.4 \Omega$; $C_{\text{real}} = 45.4 \mu\text{F}$; $Q_{\text{real}} = 151 \text{ KVAR}$.

Parámetros eléctricos del banco de capacitores por fase: 755 KVAR-2.97 KV, $X_{c\text{real}} = \frac{58.4}{5} = 11.68 \Omega$; $C_{\text{real}} = 227 \mu\text{F}$ (se considera una tolerancia de fabricación de +3%).

Inductancia del reactor del filtro de 5ª armónica para una sintonía a 4.9 PU:

$$L = \frac{1}{377^2(4.9^2)(227E-6)} = 1.290 \text{ mH} \leftrightarrow 0.486 \Omega.$$

Corriente fundamental del filtro al voltaje nominal y máximo de operación:

$$I_{F1} = \frac{\frac{4160}{\sqrt{3}}}{(11.68-0.486)} = 214 \text{ A} \quad I_{F1\text{máx}} = \frac{\frac{(1.06)4160}{\sqrt{3}}}{(11.68-0.486)} = 227 \text{ A}$$

Corriente RMS del filtro considerando la fundamental máxima y armónicas $I_5 = 100$ A, $I_7 = 50$ A:

$$I_{RMS} = \sqrt{227^2 + 100^2 + 50^2} = 253 \text{ A}$$

Voltaje máximo aplicado al banco de capacitores:

$V_c = (11.68) (253) = 2955 \text{ V}$ que es menor a 2970 V siendo correcta la selección de unidades capacitoras.

Potencia reactiva trifásica suministrada por el filtro de 5ª armónica al voltaje nominal:

$$Q_{3\phi} = 3 (11.68 - 0.486) 214^2 = 1\,537\,921 \text{ VAR} = 1.53 \text{ MVAR}$$

Especificaciones de reactores de filtro:

Especificación Técnica	
No. de Reactores por Fase:	1
Reactancia Inductiva:	0.486 Ω
Inductancia Nominal:	1.29 mH
Corriente Nominal 60 HZ:	227 A
Corriente RMS: $\sqrt{I_{60\text{Hz}}^2 \pm \sum I_{ARM}^2}$	253 A
Corriente Térmica:	3.88 KA, 1 Seg.
Pico Mecánico:	9.9 KA
Altitud:	1800 msnm
Norma:	IEC 289-1988
Uso exterior:	
Enfriamiento:	Aire Natural
Elevación de Temperatura:	80°C
Clase de Aislamiento:	B
Tensión de Impulso:	70 kV
Voltaje de Sistema:	4.16 kV
Voltaje de Diseño:	5 kV
Potencia Reactiva Nominal:	31.1 KVAR
Caída de Voltaje:	123 Volts

Nota:

Se requieren 3 reactores monofásicos por banco de capacitores.

6.1.4 Calidad del filtro:

El rango de la calidad de filtros industriales oscila entre $20 \leq Q \leq 50$

Para éste caso, $Q=30$. La calidad del filtro está definida como:

$$Q = \frac{X_{L_{4.9}}}{R}$$

De donde:

$$R = \frac{X_{L_{4.9}}}{Q}$$

$$X_{L_{4.9}} = 4.9 X_{L_1} = 4.9 (0.486) = 2.3814 \Omega.$$

$$R = \frac{2.3814}{30} = 0.08 \Omega.$$

6.1.5 Protecciones del filtro:

Protección contra sobretensiones (59):

Voltaje de operación del banco de capacitores.

$$V_s = 1.1(4160) = 4.576[\text{kV}]$$

$$V_c = \frac{(4.9)^2}{(4.9)^2 - 1} \left(\frac{4576}{\sqrt{3}} \right)$$

$$V_c = 2.756[\text{kV}]$$

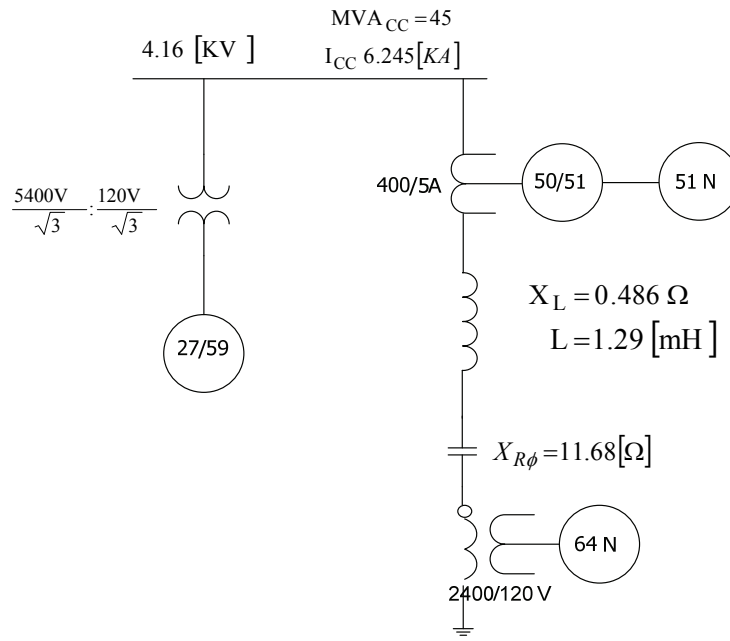
$$V_{uc} = 2.756[\text{kV}]$$

Las unidades capacitoras son de 146.6 KVAR- 2970 V, así que se ajusta el 59 a:

$$\text{RTP} = \frac{5400 \text{ V}}{\sqrt{3}} : \frac{120 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 45:1 \text{ V} \quad V_{sec} = \frac{(2970 \text{ V})}{45} = 63 \text{ V}; \quad \text{Tiempo de retardo} = 2 \text{ Seg.}$$

Protección contra baja tensión (27):

$$V_{sec} = \frac{0.8(2401)}{45} = 43 \text{ V}; \quad \text{Tiempo de retardo} = 2 \text{ Seg.}$$



Esquema de protección del filtro de 5ª armónica

Ajuste del relevador de sobrecorriente de tiempo inverso (51):

La corriente RMS Máxima es de 253 A (considerando el voltaje máximo del sistema y corrientes armónicas). RTC = 400/ 5 A

$$I_{pickup} = 1.2 (214) = 256 \text{ A}$$

$$Tap = \frac{256}{80} = 3.2 \text{ A} \quad ; \quad Dial = 0.1, \text{ Característica de tiempo muy inverso}$$

Ajuste del relevador de sobrecorriente instantánea (50) = (50 N)

Capacidad de corto-circuito en las terminales del capacitor:

Conociendo la reactancia inductiva del reactor podemos conocer la capacidad de corto circuito en el banco de capacitores.

La capacidad de corto circuito en el bus 9 de la industrial Mittal es de 45 MVAcc. y en las terminales del banco de capacitores es:

$$\frac{1}{MVAcc} = \frac{1}{45} + \frac{1}{\frac{4.16^2}{0.486}}$$

$$MVAcc = 19.9$$

$$I_{cc} = \frac{19900}{\sqrt{3}(4.16)} = 2760 \text{ A}$$

$$I_{inrush} = \sqrt{2} \sqrt{2760 (214) (.9)} = 978 \text{ A}$$

$$I_{ajuste \ sec} = \frac{1.3 (978)}{80} = 16 \text{ A} \quad ; \quad \text{Sin retardo intencional}$$

Ajuste del relevador 51-N

$$10\%I_{op} \leq I_{pickup} \leq 20\%I_{op}$$

En nuestro caso, tomamos el 15% de la corriente de operación del filtro.

$$I_{pickup} = 0.15 (214) = 32 \text{ A}$$

$$TAP = \frac{32}{80} = 0.4 \text{ A}; \quad Dial = 0.1, \text{ Característica de tiempo inverso}$$

Ajuste del relevador 64-N

➤ Alarma

Voltaje en unidades restantes de un grupo serie cuando sale de operación una unidad capacitadora:

$$V_{c1} = \frac{3(V_{LG})P}{[3S(P-F)] + 2F} = 2684V.$$

2684 V menor a 2970 V, así que puede seguir operando el filtro hasta que se den las condiciones para sacarlo de operación, verificar la unidad capacitadora y reponer el fusible.

Cuando falla una o más Unidades Capacitoras de un grupo serie del banco de capacitores, se tiene una tensión en el neutro igual a:

$$V_{NG} = \frac{V_{LG}F}{[3S(P-F)] + 2F}$$

Donde:

- V_{NG1} – Tensión de neutro a tierra
- V_{LG} – Tensión entre fases
- P – Número de Unidades Capacitoras en paralelo
- F – Número de Unidades Capacitoras falladas
- S – Número de grupos serie

Para una Unidad Capacitora fallada se tiene:

$$V_{NG_1} = \frac{\left(\frac{4160}{\sqrt{3}}\right)(1)}{[3(1)(5-1)] + 2(1)}$$

$$V_{NG_1} = \frac{2401.8}{14} [V] = 172 \text{ V}$$

➤ Disparo

Cuando fallen dos Unidades Capacitoras de un grupo serie del banco de capacitores, las unidades capacitoras restantes (3) tendrán un voltaje aplicado de 2891 V que es mayor a 2970 por tanto, el filtro debe salir de operación después de un cierto tiempo (5 Seg) :

Cuando fallen dos Unidades Capacitoras de un grupo serie del banco de capacitores, se tendrá una tensión en el neutro igual a:

$$V_{NG_2} = \frac{\left(\frac{4160}{\sqrt{3}}\right)(2)}{[3(1)(5-2)] + 2(2)}$$

$$V_{NG_2} = \frac{4803.55}{13} [V] = 370 \text{ V}$$

➤ Desbalance severo

Tensión en el neutro cuando se está corto circuitando una Unidad Capacitora del banco de capacitores.

$$V_n = 2400 \text{ V}$$

Para los siguientes valores de relación de transformación:

$$RTP = 2400/120[V]$$

$$RTP = 20/1[V]$$

Y ajustando al 80% de tensión en el neutro se tiene:

- Voltaje primario:

$$V_{\text{alarma}} = 0.8(172) = 138[V]$$

$$V_{\text{disparo}} = 0.8(370) = 236[V]$$

$$V_{\text{severo}} = 0.5(2400) = 1200[V] \text{ (50\% del voltaje de neutro)}$$

$$V_{\text{severo}} = 0.5 (2400 \text{ V}) = 1200 \text{ V}$$

- Voltaje secundario:

$$V_{\text{alarma}} = \frac{138}{20} = 6.9[V]$$

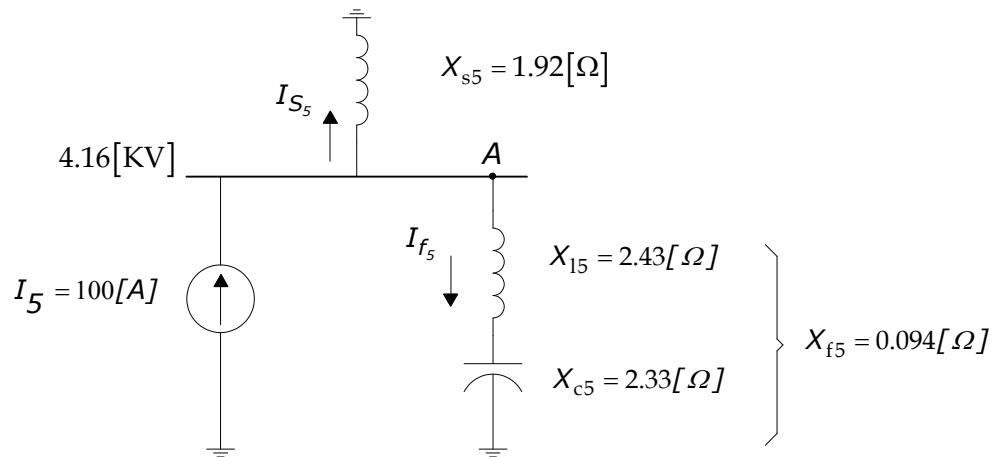
$$V_{\text{disparo}} = \frac{236}{20} = 11.8[V]$$

$$V_{\text{severo}} = \frac{1200}{20} = 60[V]$$

AJUSTES DEL RELEVADOR 64-N	V _{PRIMARIO} [V]	V _{SECUNDARIO} [V]	TIMER [S]
Alarma	138	6.9	5
Disparo	236	11.8	5
Desbalance severo	1200	60	0.2

6.1.6 Análisis armónico para la corriente de 5º orden

Con filtro de 5ª armónica:



Reactancia del sistema a la frecuencia fundamental

$$X_{S_1} = \frac{kV^2}{MVA_{CC}} = \frac{4.16^2}{45}$$

$$X_{S_1} = 0.38 [\Omega]$$

Reactancia del sistema debida a la 5ª armónica

$$X_{S_5} = 5X_{S_1} = 5(0.38)$$

$$X_{S_5} = 1.92 (\Omega)$$

Reactancia del reactor debida a la 5ª armónica

$$X_{L_5} = 5X_{L_1} = 5(0.486)$$

$$X_{L_5} = 2.43 [\Omega]$$

Reactancia del banco de capacitores debida a la 5ª armónica

$$X_{C_5} = \frac{X_{C_1}}{5} = \frac{11.68}{5}$$

$$X_{C_5} = 2.33[\Omega]$$

Reactancia del filtro debida a la 5ª armónica

$$X_{f_5} = X_{L_5} - X_{C_5} = 2.43 - 2.336$$

$$X_{f_5} = 0.094[\Omega]$$

Corriente en el filtro

$$I_{f_5} = \frac{X_{S_5} I_5}{X_{S_5} + X_{f_5}} = \frac{(1.92)(100)}{1.92 + 0.094}$$

$$I_{f_5} = 95.33[A]$$

Corriente de 5ª hacia el sistema

$$I_{S_5} = I_5 - I_{f_5} = 100 - 95.33$$

$$I_{S_5} = 4.67[A]$$

Tensión de 5ª armónica en el punto A

$$V_5 = I_{S_5} X_{S_5} = (4.67)(1.92)$$

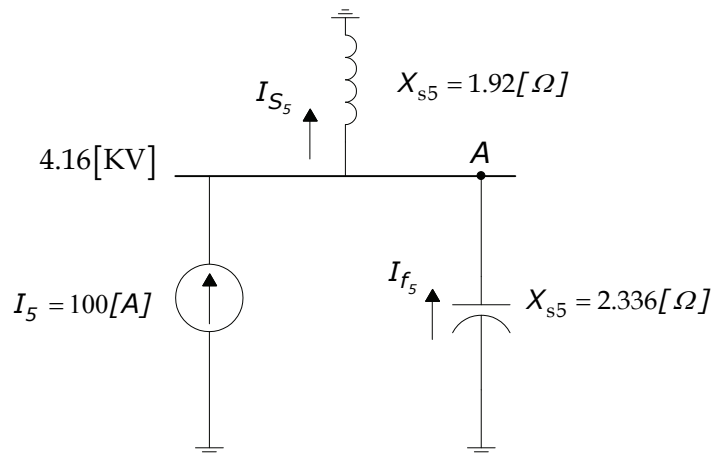
$$V_5 = 8.966[V]$$

Distorsión individual de tensión de 5ª armónica

$$DHV_5 = \frac{V_5}{V_N} \times 100 = \frac{8.966}{\frac{4160}{\sqrt{3}}} \times 100$$

$$DHV_5 = 0.373\%$$

Con banco de capacitores de 1.5 MVAR de \$16 KVen lugar de filtro de 5ª armónica



Corriente en el capacitor

$$I_{C_5} = \frac{X_{S_5} I_5}{X_{S_5} + X_{C_5}} = \frac{(1.92)(100)}{1.92 - 2.33}$$

$$I_{C_5} = -461.53 [A]$$

Corriente de 5ª hacia el sistema

$$I_{S_5} = I_5 - I_{C_5} = 100 - (-461.53)$$

$$I_{S_5} = 561.53 [A]$$

Tensión de 5ª armónica en el punto A

$$V_5 = I_{S_5} X_{S_5} = (561.53)(1.92)$$

$$V_5 = 1078.15 [V]$$

Distorsión individual de tensión de 5ª armónica

$$DHV_5 = \frac{V_5}{V_N} \times 100 = \frac{1078.15}{\frac{4160}{\sqrt{3}}} \times 100$$

$$DHV_5 = 45\%$$

6.1.7 Resonancia serie-paralelo del filtro con el sistema de potencia

Frecuencia de resonancia serie

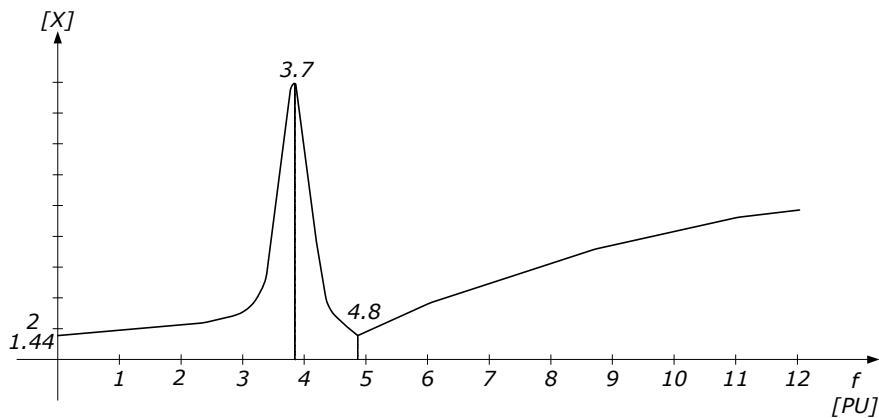
$$f_{rs} = \sqrt{\frac{X_{C_1}}{X_{L_1}}} = \sqrt{\frac{11.68}{0.486}}$$

$$f_{rs} = 4.9[\text{PU}]$$

Frecuencia de resonancia paralelo

$$f_{rp} = \sqrt{\frac{X_{C_1}}{X_{S_1} + X_{L_1}}} = \sqrt{\frac{11.68}{0.384 + 0.486}}$$

$$f_{rp} = 3.7[\text{PU}]$$



Gráfica de magnitud de reactancia contra frecuencia

6.1.8 Aplicación de la especificación CFE L0000-45-2005

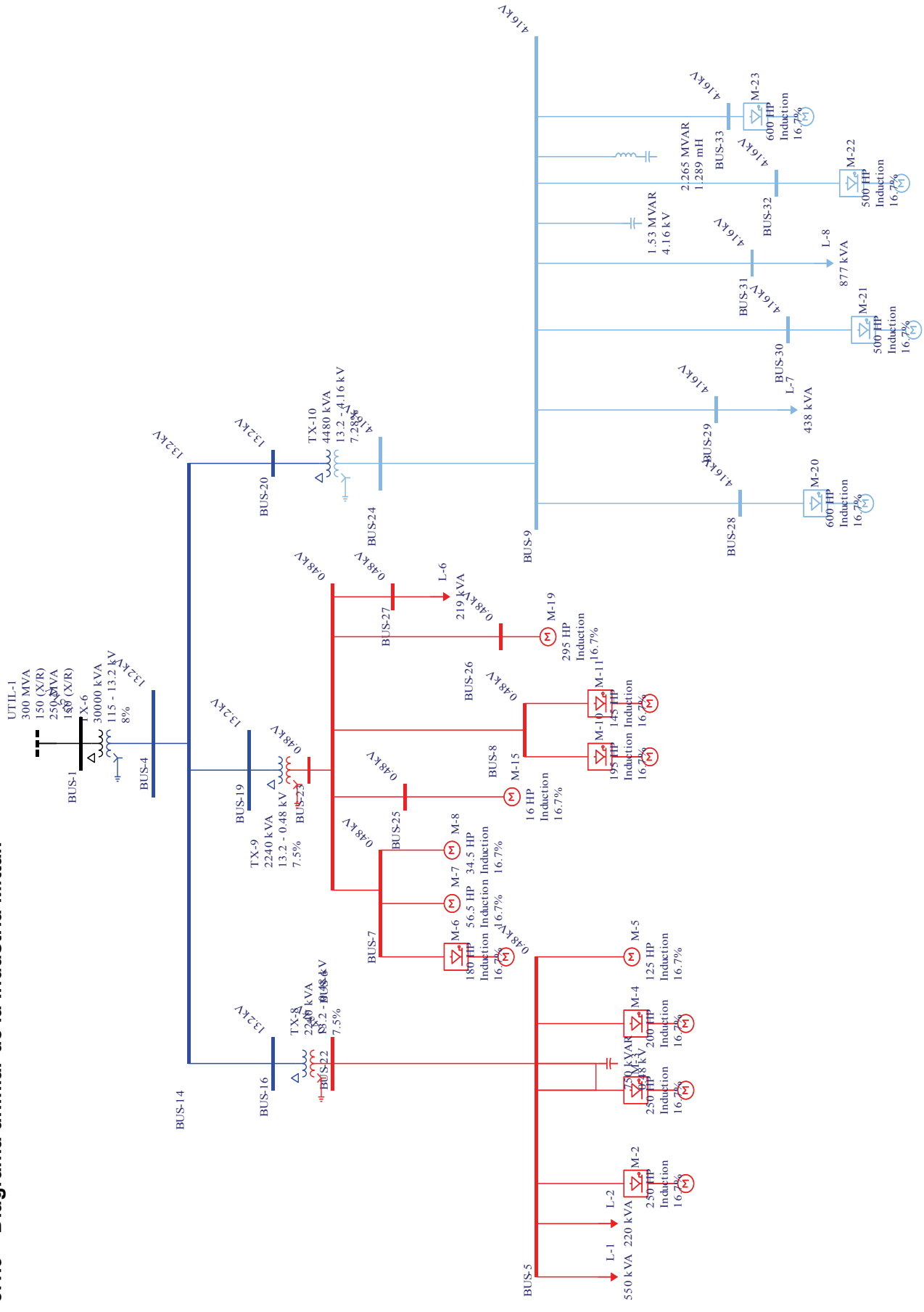
Con base en la norma “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” de CFE, tenemos que:

- ✓ Para un nivel de tensión de 4.16 [kV], se tiene que el límite de distorsión armónica individual de tensión, HDv=6.5%. (Ver anexo A)

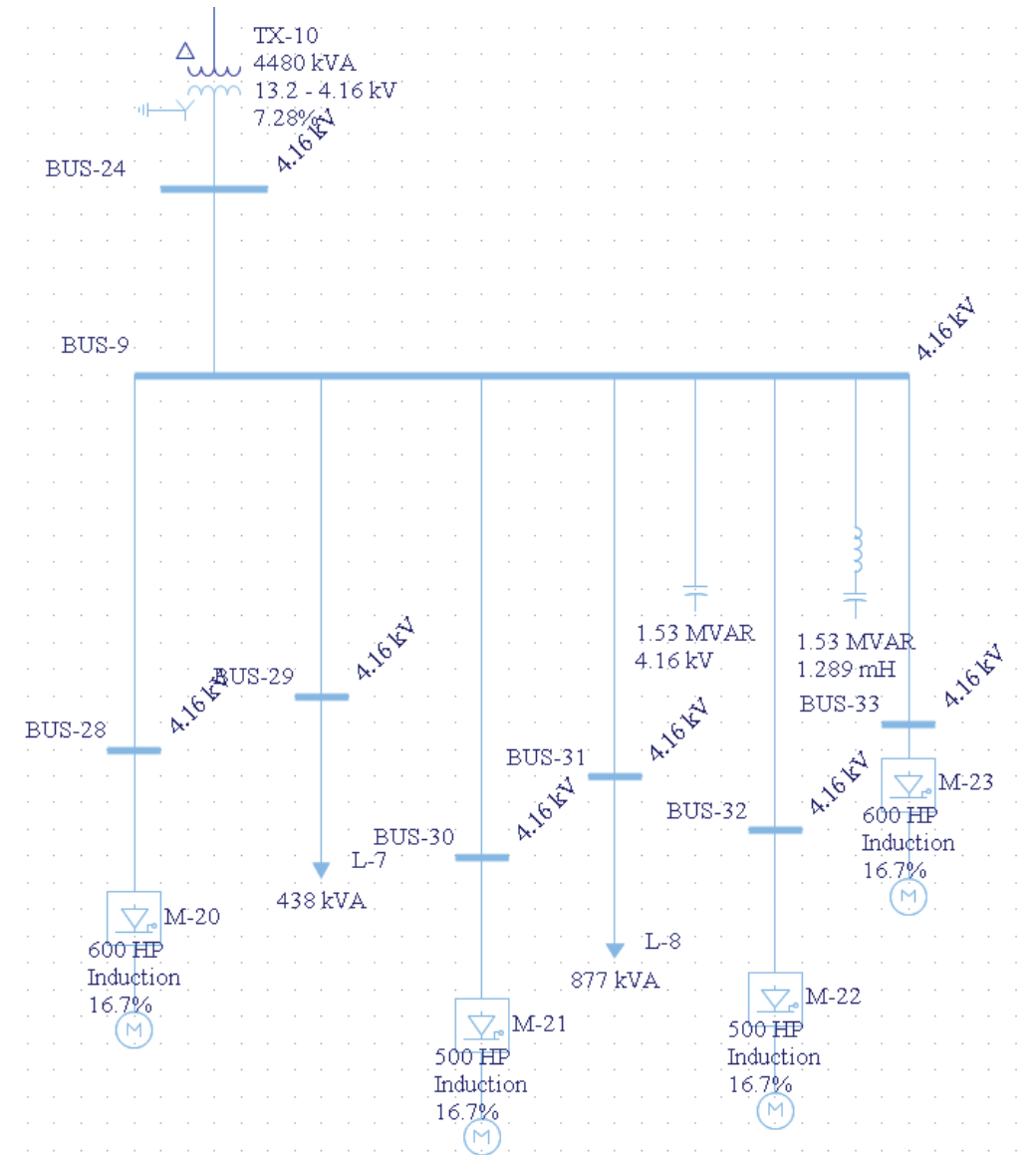
El filtro de 5ª armónica diseñado tiene un HDv=0.373%, lo cual nos ubica dentro de los rangos permisibles de distorsión armónica.

A diferencia del filtro, el banco de capacitores, utilizado únicamente para compensación reactiva, presenta un HDv=45 %. Dicho valor está totalmente fuera de rango, lo cual nos indica que a pesar de la compensación de potencia que pueda tenerse, habrá altas corrientes armónicas de 5º orden fluyendo en el banco de capacitores y sistema de potencia.

6.1.9 Diagrama unifilar de la Industria Mittal.



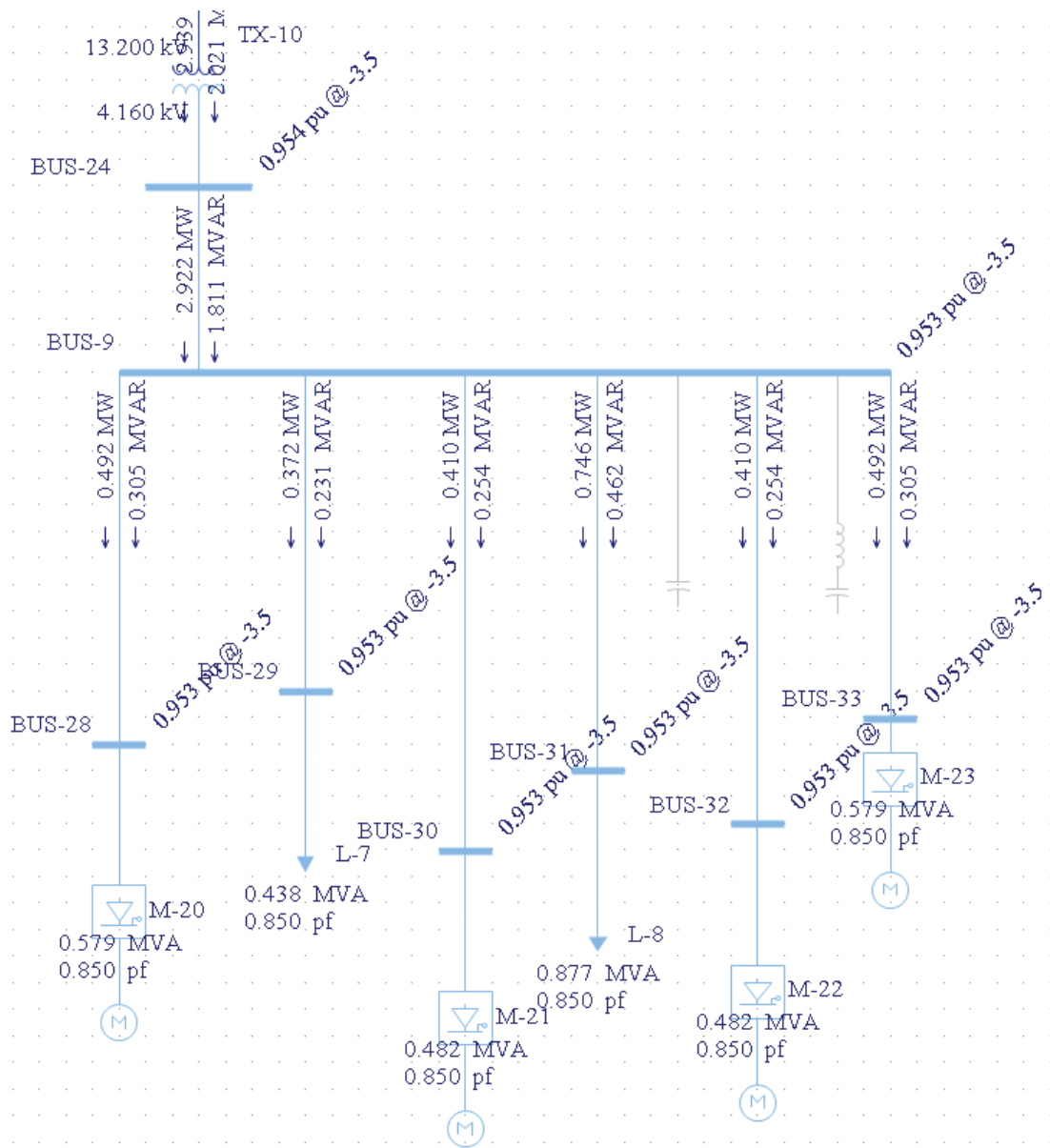
Bus 9 de industria Mittal



Este estudio de comportamiento armónico se centra en el bus 9, ya que al igual que los buses que tengan conectados motores con controladores de velocidad se verán afectados de la misma forma por lo que el dimensionamiento de los filtros se realiza con la misma lógica que este bus.

Flujos de Potencia en el Bus 9 de la industria Mittal con los siguientes casos:

- sin compensación de potencia reactiva,
- con compensación de potencia reactiva (banco de Capacitores de 1500 KVAR)
- y con compensación de potencia reactiva (Filtro de quinta armónica).



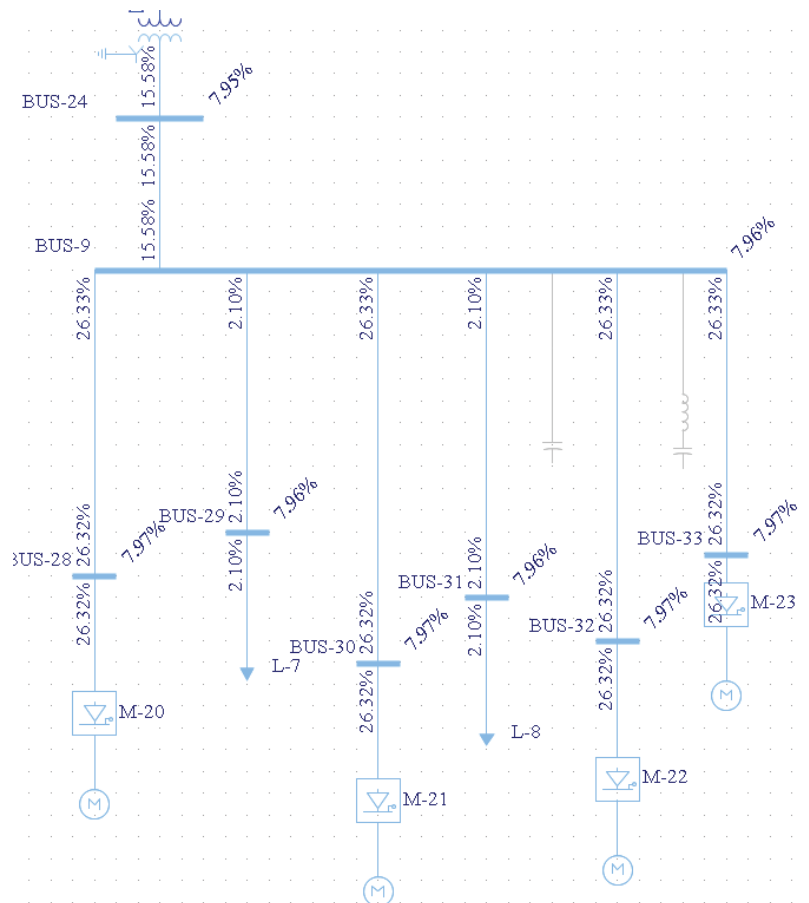
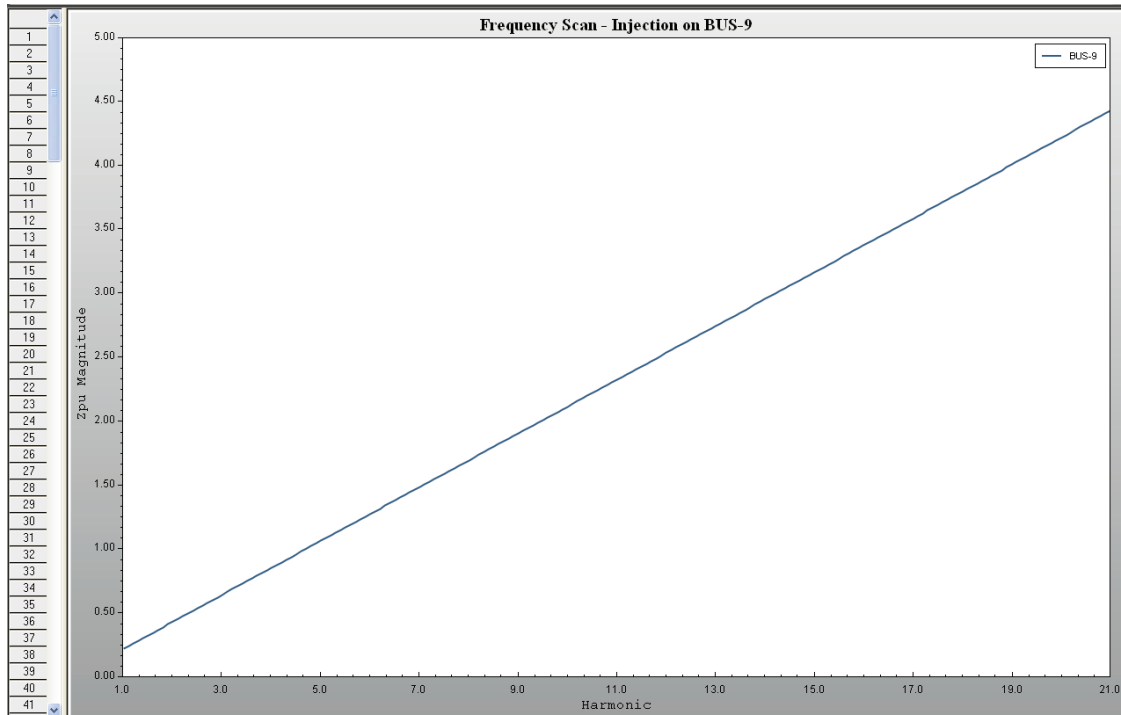
Al realizar el estudio de flujos de potencia del sistema, se observa que hay bajos voltajes en los buses y es necesaria la compensación de potencia reactiva y corregir el F.P.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(2.922)^2 + (1.811)^2} = 3.43 [MVA]$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{2.922}{3.43} = 0.84$$

Sin embargo podemos observar que la caída de tensión en el bus esta dentro de los límites permitidos de la norma, sin embargo se tienen mayores pérdidas en el sistema industrial.

Impedancia vs Frecuencia."vista" en el bus 9, sin considerar la compensación de potencia reactiva.

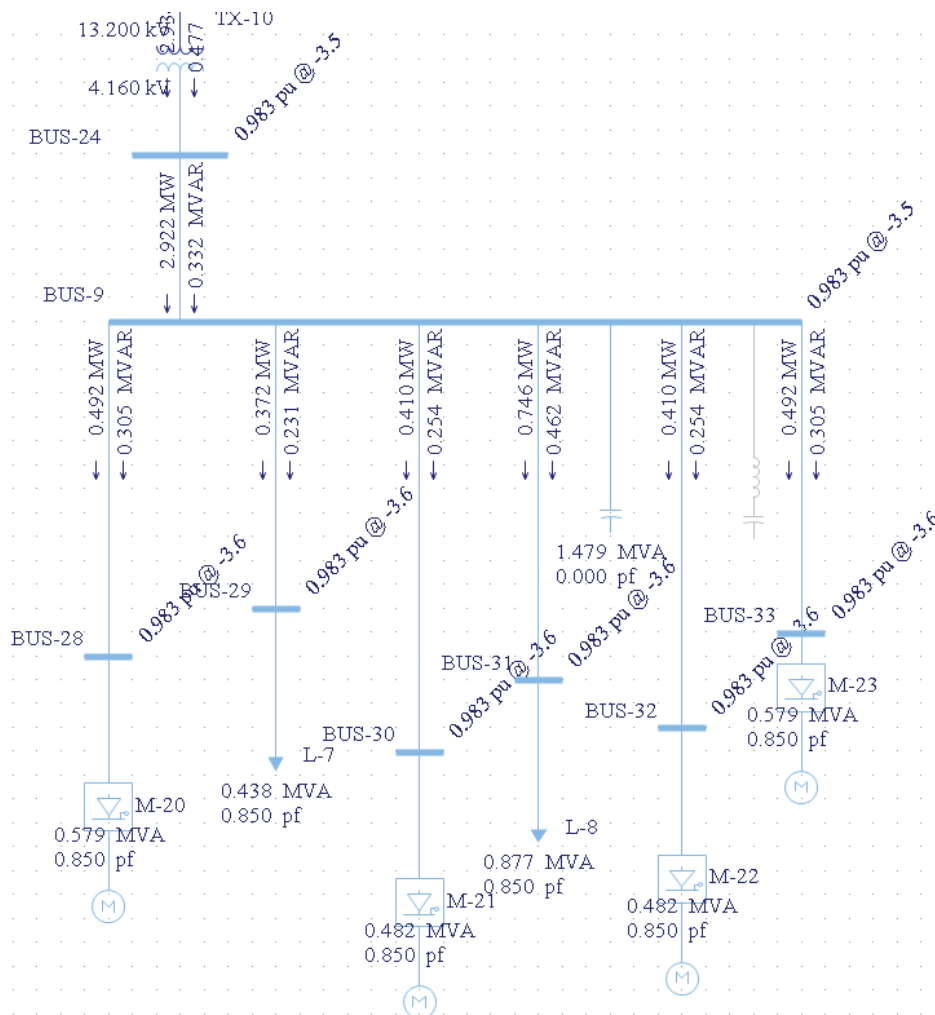


Este es el comportamiento de Impedancia vs Frecuencia del bus 9 de la industria Mittal, donde se puede observar que al no estar conectado en paralelo con algún elemento compensador, este se ve afectado solo por la reactancia inductiva del sistema de potencia por lo que al ir aumentando la frecuencia su impedancia crece de manera proporcional.

Sin embargo las cargas no lineales instaladas en dicho bus provocan un aumento en la distorsión armónica del voltaje siendo el THD un 7.96 % , esto representa un problema a las demás cargas instaladas ya que son alimentadas con voltajes armónicos indeseables.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1}$$

Flujos de Potencia con compensación de Potencia Reactiva por medio de un Banco de Capacitores de 1500 KVAR.



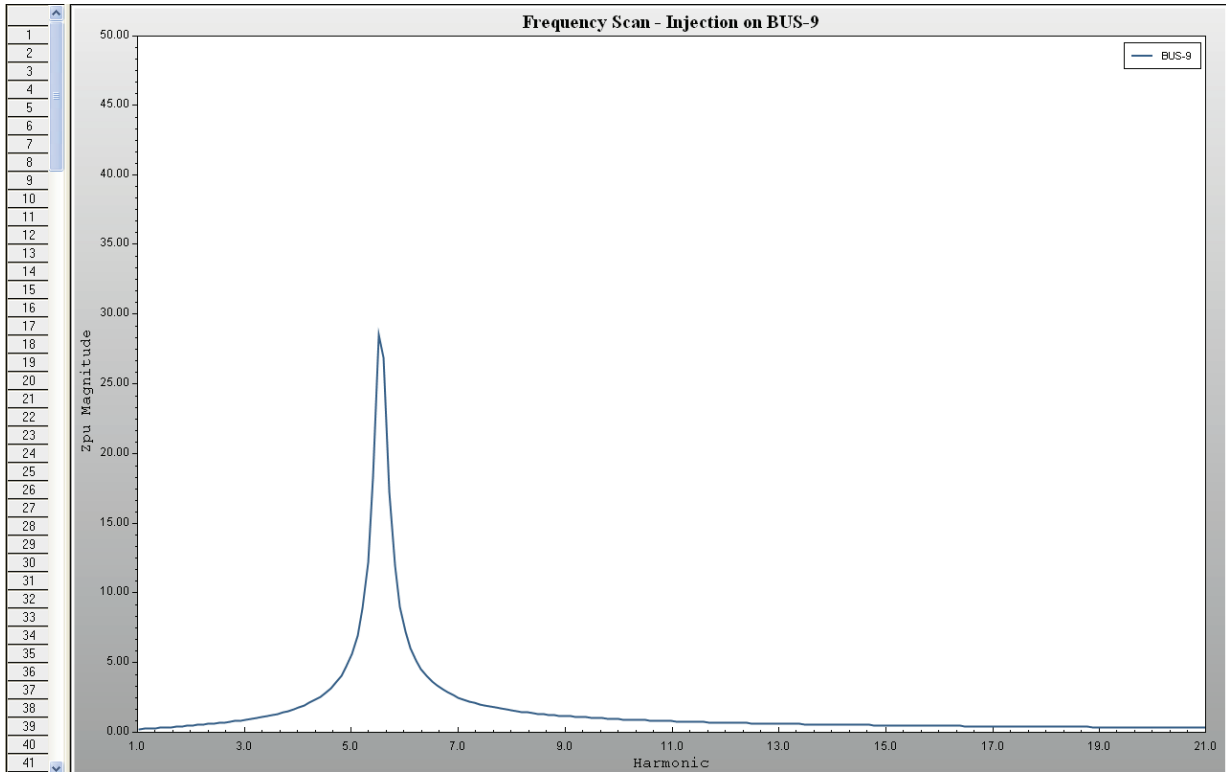
Por medio de la compensación de Potencia Reactiva a través de los bancos de capacitores evitamos que dicha potencia reactiva sea alimentada por el sistema así que se corrige el F.P. y a su vez tener una tensión estable en los buses, en este caso de 0.98 PU.

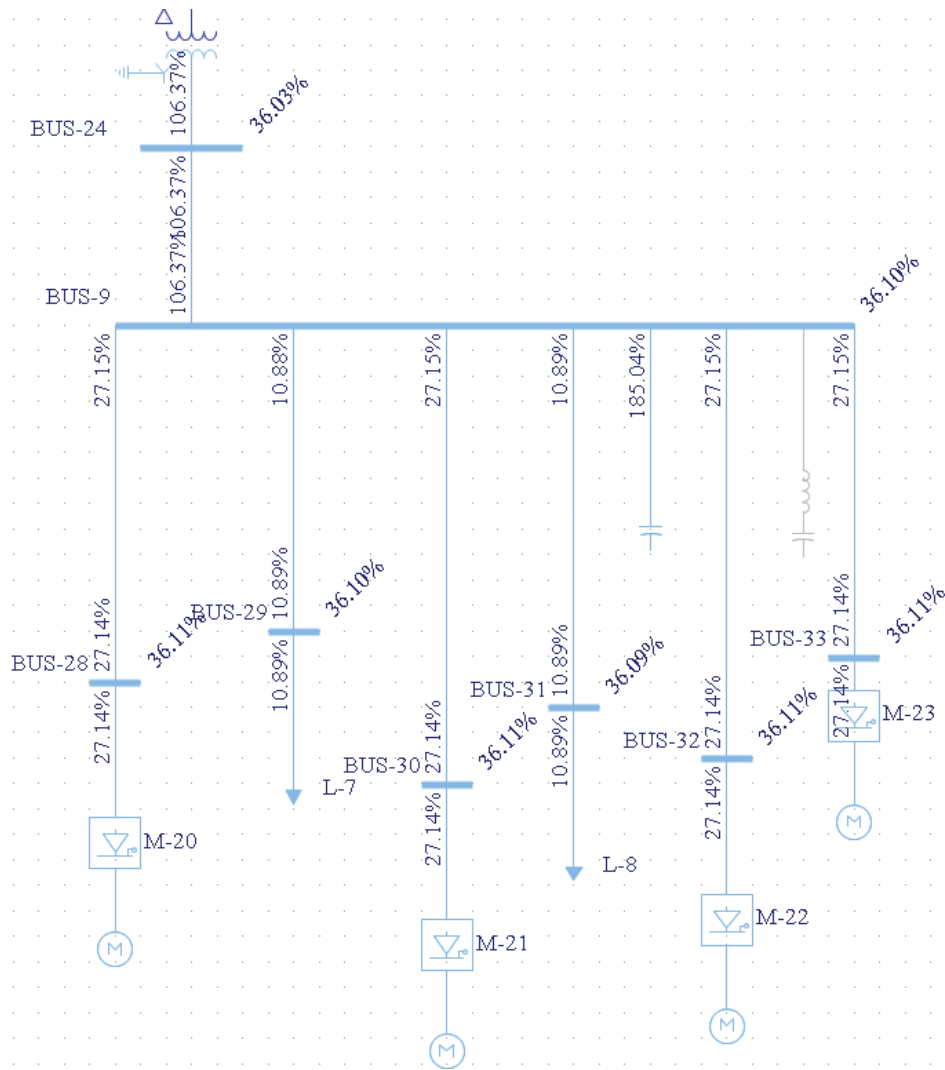
$$S = \sqrt{2.922^2 + 0.332^2} = 2.94 [MVA]$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{2.922}{2.94} = 0.99$$

Podemos observar que el banco de capacitores influye directamente en la potencia reactiva necesaria del bus 9 mas no en la potencia activa del bus.

Impedancia vs Frecuencia."vista" en el bus 9, considerando la compensación de potencia reactiva (banco de capacitores de 1500 KVAR).



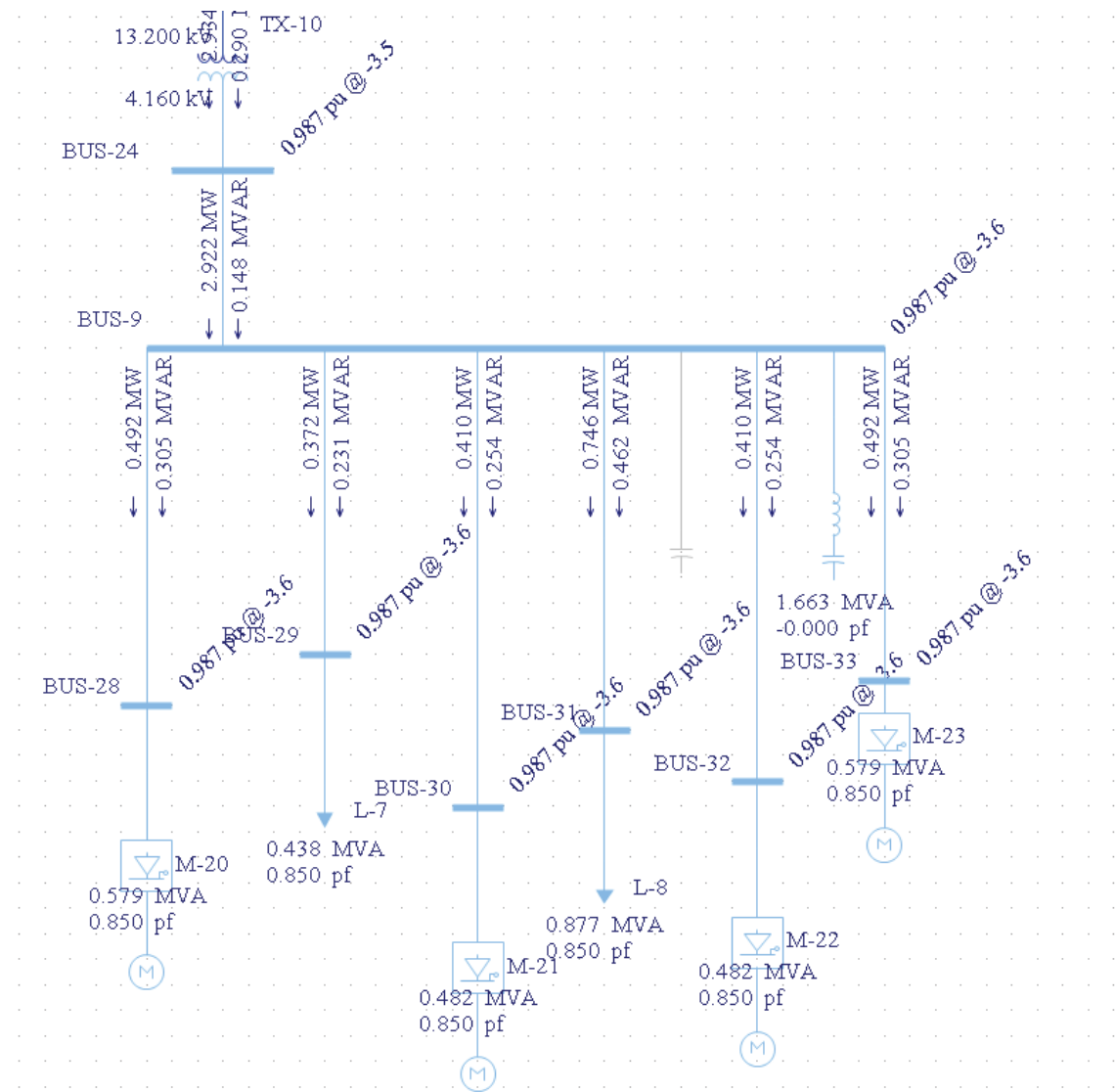


Por medio de este estudio de impedancia vs frecuencia podemos observar que la reactancia inductiva equivalente en dicho bus entra en resonancia con el banco de capacitores provocando así un aumento excesivo en los voltajes armónicos, ya que la carga representa una fuente de corriente de quinta y séptima armónica.

Como podemos observar no necesariamente la frecuencia de resonancia debe de estar sintonizada exactamente a las corrientes armónicas generadas por las cargas no lineales para generar una distorsión armónica excesiva en el bus.

Se presentan altos voltajes armónicos en el bus 9 por lo que es necesaria la instalación de un filtro encargado de mantener los voltajes armónicos bajo cierto límite.

Compensación de Potencia Reactiva en el Bus 9 por medio de un filtro de quinta armónica de 1500 KVAR-4.16 KV.



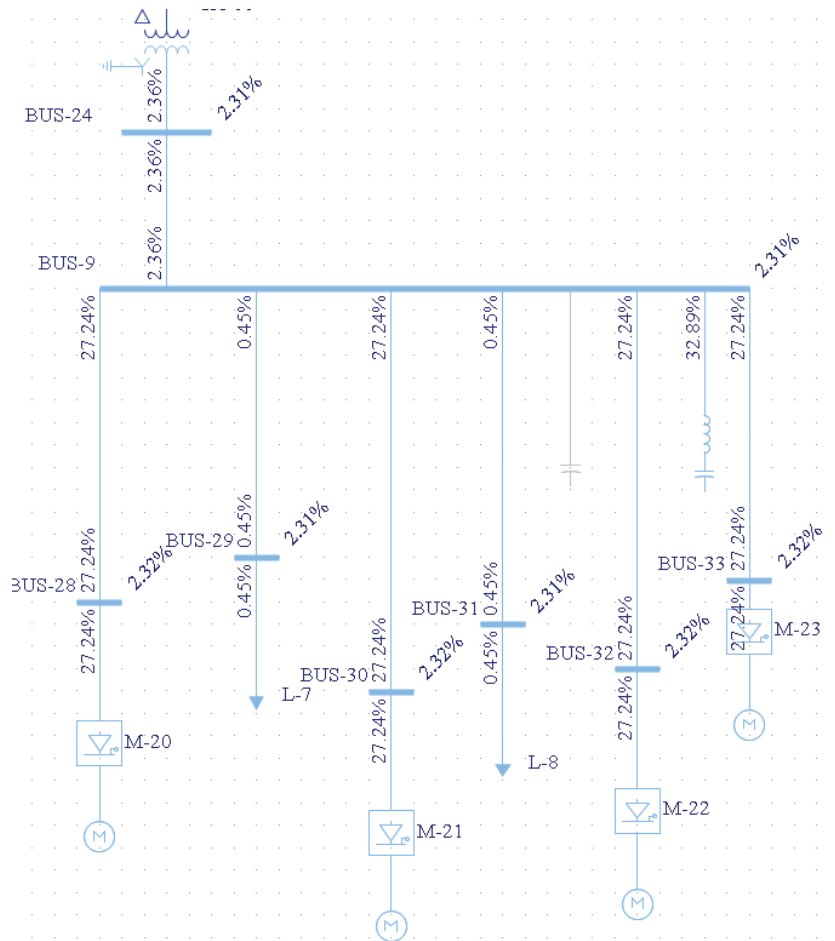
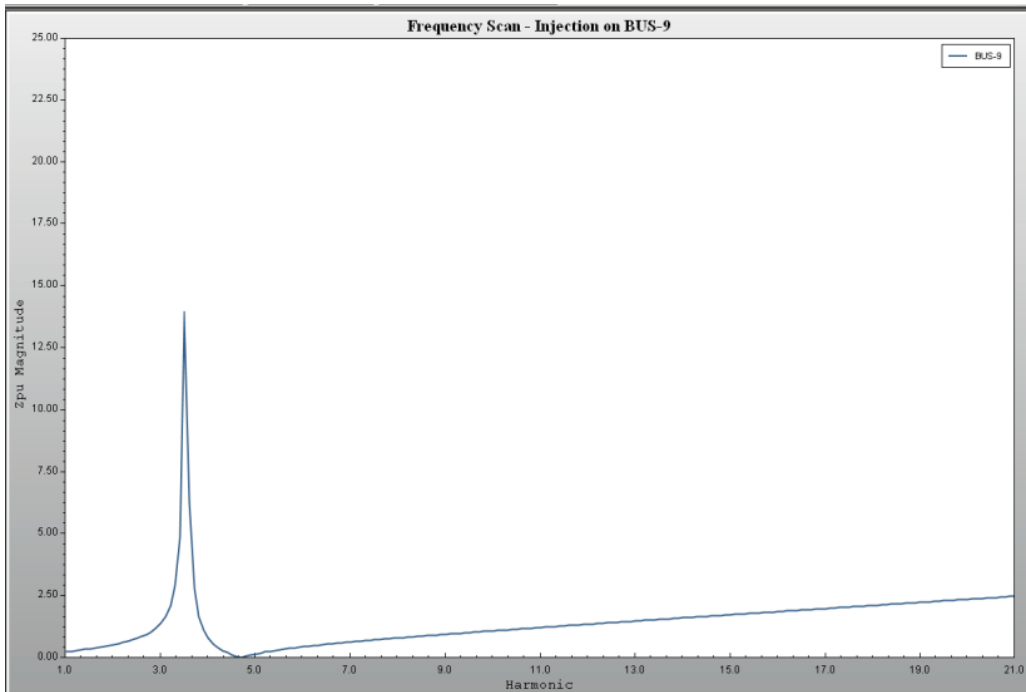
La compensación de potencia reactiva es capaz de mantener el F.P. del sistema en un nivel aceptable al igual que hay una mejora en la tensión nominal del bus.

$$S = \sqrt{2.922^2 + .148^2} = 2.925$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{2.922}{2.925} = 0.99$$

Por lo que en cuanto a los flujos de Potencia no representa diferencia alguna entre un banco de capacitores sin embargo tiene la capacidad de atenuar las corrientes armónicas al sistema, representando un camino de baja impedancia para las mismas.

Comportamiento del Bus 9 por medio de la compensación de Potencia Reactiva por medio de un filtro de quinta armónica.



Podemos ver que al instalar un filtro sintonizado a la quinta armónica se representa un camino de baja impedancia a las corrientes armónicas suministradas por las cargas no lineales en este caso los controladores de velocidad de los motores de dicha empresa por lo que podemos comprender la importancia que tienen los filtros en las industrias que tienen cargas no lineales.

La distorsión armónica total de voltaje en el bus es de 2.31 % que es menor al límite recomendado por la Norma CFE L0000 45-2005 (6.5%), así que es correcta la instalación del filtro.