

Harmónicas - Problemática e soluções

—
Departamento Power Quality

Circutor

1



Nuno Romão

Delegado Circutor
Portugal

@circutor 

circutor 

tel. +351 960 118 366
nromao@circutor.com



Circutor

2

Índice

- Harmónicas
- Harmónicas – efeitos na instalação
- Compensação de energia reativa em redes poluídas
- Sistema SVG
- Sistema AFQm
- Proteções diferenciais
- Religadores

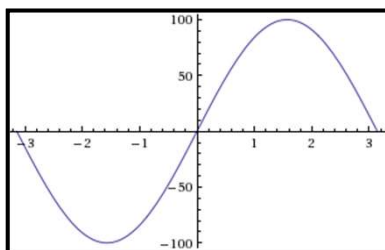
Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

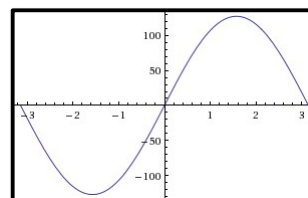
3

Harmónicas

Uma harmónica de uma onda é uma componente em frequência do sinal que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental dessa mesma (50/60 Hz).



$$X(t) = X_1$$



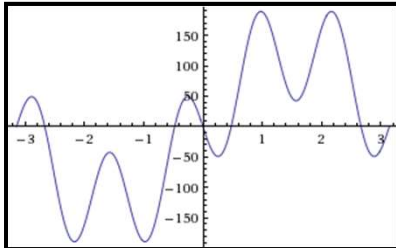
Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

4

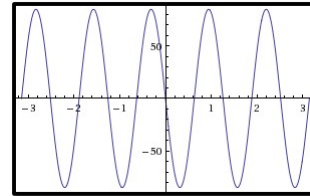
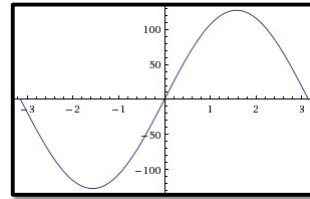
Harmônicas

Uma harmônica de uma onda é uma componente em frequência do sinal que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental dessa mesma (50/60 Hz).



$$X(t) = X_1 + X_5$$

Harmônicos - Problemática e soluções

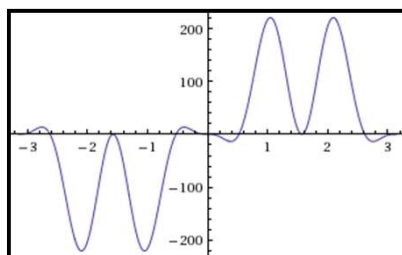


Circuit

5

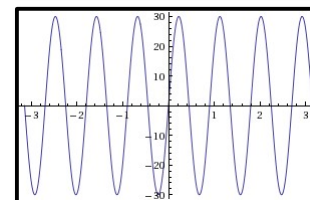
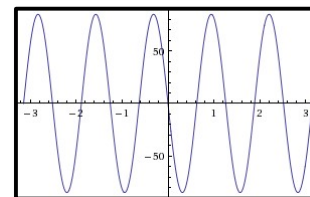
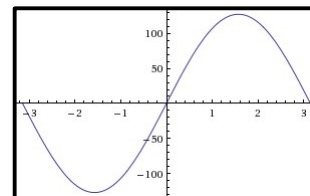
Harmônicas

Uma harmônica de uma onda é uma componente em frequência do sinal que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental dessa mesma (50/60 Hz).



$$X(t) = X_1 + X_5 + X_7$$

Harmônicos - Problemática e soluções



Circuit

6

Harmónicas. Cargas que os geram

Não geram harmónicos.

Cargas lineares



A corrente absorvida é com forma de onda sinusoidal.

Sim, geram harmónicos.

Cargas não lineares ou distorsionantes



A corrente absorvida tem uma forma de onda não sinusoidal. Existência de harmónicos. Por exemplo, a conversão de CA-CC.

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

7

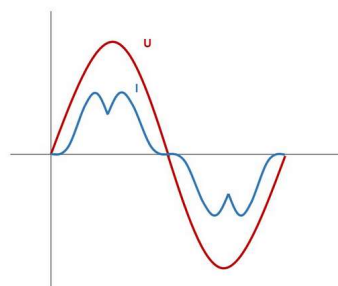
Harmónicas. Cargas que os geram

Cargas não lineares ou de distorção

A corrente absorvida possui uma forma de onda não sinusoidal. Conversão de CA-CC.

Exemplos de tipos de cargas e setor:

- **Máquinas de climatização** → Qualquer tipo de instalação.
- **Câmaras frigoríficas** → Supermercados.
- **Sistemas de bombagem** → Estações de bombagem, indústria.
- **Sistemas de automatização e controlo** → Indústria.
- **Grande proporção de equipamentos de iluminação LED** → Escritórios, centros comerciais.
- **Variadores de velocidade** → Indústria.
- **Equipamentos de carregamento de veículo elétrico** → Qualquer tipo de instalação.

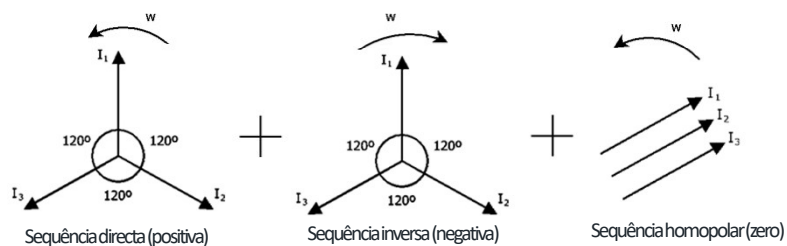


Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

8

Harmônicas. Que tipos existem?



Sequência					
Positiva		Negativa		Homopolar	
Hamónico	Frequência	Hamónico	Frequência	Hamónico	Frequência
1	50 Hz	2	100 Hz	3	150 Hz
4	200 Hz	5	250 Hz	6	300 Hz
7	350 Hz	8	400 Hz	9	450 Hz
10	500 Hz	11	550 Hz	12	600 Hz
13	650 Hz	14	700 Hz	15	750 Hz

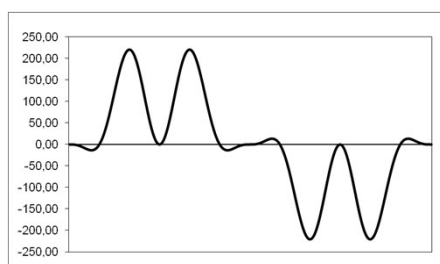
Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

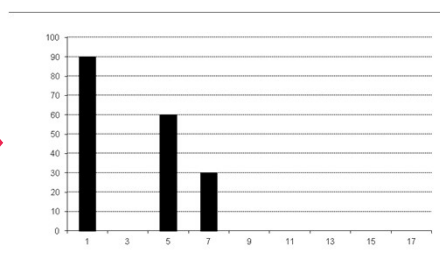
9

Harmônicas. Interpretação

A forma de avaliar a quantidade de harmônicos é medição do espectro.



Domínio do tempo



Domínio da frequência (Espectro)

“Quanto mais alta é a frequência, mais pequena é a amplitude. Por isso, os harmónicos mais importantes são os primeiros (3,5,7,9...)”

- Cargas não lineares monofásicas: 3,5,7,9...
- Cargas não lineares trifásicas: 5,7,11,13...

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

10

Harmônicas. Interpretação

A taxa de distorção harmônica total:

Relação entre a soma dos harmônicos relativamente à fundamental:

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100 (\%)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100 (\%)$$

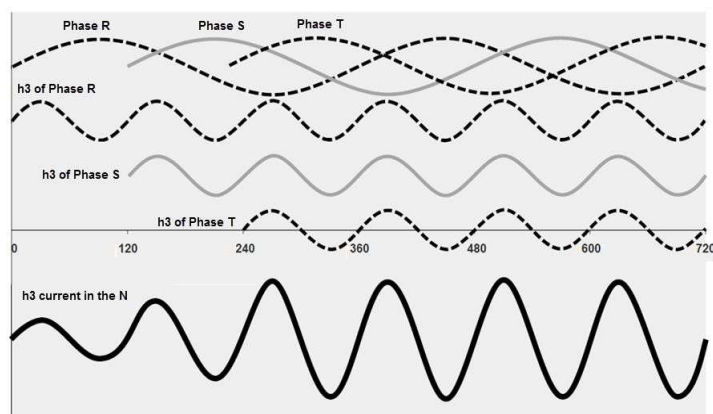
Harmônicos - Problemática e soluções

Circuitor

11

Harmônicas. Efeito dos harmônicos homopolares (triplos)

A taxa de distorção harmônica total:



As correntes harmônicas de ordem tripla (3,9,15...) de cada fase, somam-se diretamente no condutor de neutro.

Harmônicos - Problemática e soluções

Circuitor

12

Harmônicas. Efeito nos condutores

Quanto maior for a quantidade de harmônicos no condutor, maior será a circulação de corrente eficaz.

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$



Harmônicos - Problemática e soluções

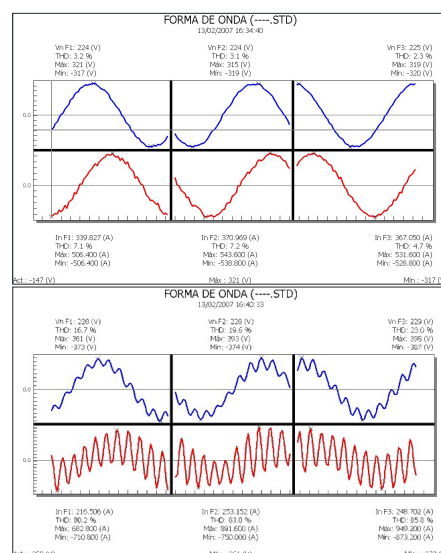
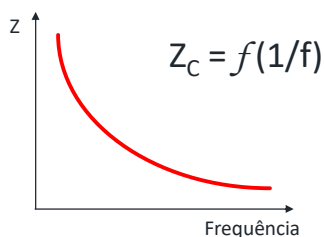


13

Efeito das harmônicas em condensadores

Com o aumento da frequência, menor é a impedância apresentada pelo condensador.

A corrente harmônica fluirá no sentido do condensador, aumentando a sua temperatura e diminuindo a sua vida útil.



Harmônicos - Problemática e soluções

Circuitor

14

Harmônicas. Efeito nos transformadores

Sobreaquecimento nos condutores por efeito Joule:

$$P_{CU} = R \cdot I_{RMS}^2 = R \cdot I_1^2 + R \times I_h^2$$

Sobreaquecimento nos condutores por perdas no ferro:

$$P_{Fe} = P_{Focault} + P_{Histéresis}$$

Harmônicos - Problemática e soluções



15

Harmônicas. Efeitos nos sistemas de controlo

Sistemas de controlo - Má qualidade de fornecimento (Tensão)



- Medições incorretas
- Erros em processos de controlo
- Interferências nas comunicações e ordens de atuação

Harmônicos - Problemática e soluções

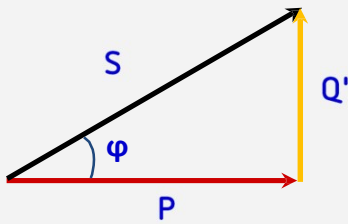
Circutor

16

Harmónicas. Pioram o fator de potência - Redução da eficiência energética

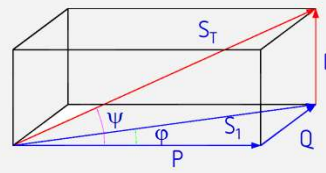
Sem harmónicos

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$



Com harmónicos

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$



$\cos \varphi \neq PF$

Harmónicos - Problemática e soluções

Circuitos

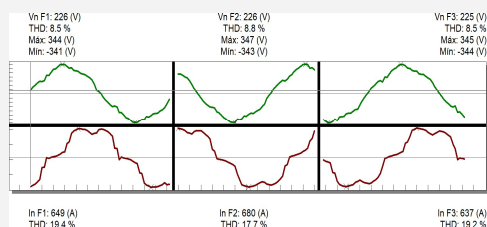
17

Compensação de reativa em redes muito poluídas (com harmónicas)

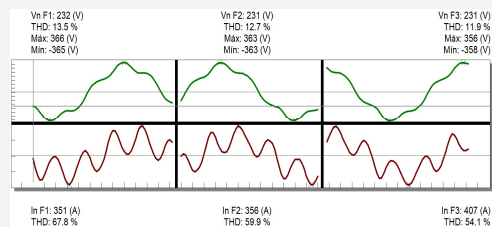
18

Harmônicas. Efeito nos condensadores

Bateria de condensadores ligada



Bateria de condensadores desligada



- Amplificação harmónica
- Sobrecarga dos condensadores

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

19

Critérios de seleção para baterias de condensadores

THDI (%)	Ordem da harmónica		THDU < 2%	2%≤THDU≤6%	THDU > 6%
THDI (%) < 10%			Condensadores padrão	Condensadores reforçados	Com reactâncias reforçadas em sintonia p = 8,7% (f _{res} = 170 / 203 Hz)
10% ≤ THDI (%)	5º Harmónico	THDI(3º) ≤ 20% x THDI(5º)	Bateria com filtros de rejeição (dessintonizados) p = 7 % (f _{res} = 189 / 227 Hz)		
	3º Harmónico	THDI(3º) > 20% x THDI (5º)	Bateria com filtros de rejeição (dessintonizados) p = 14% (f _{res} = 134 / 160 Hz)		

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

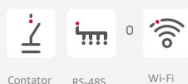
20

Baterias para compensar energia reativa indutiva

OPTIM FR P&P

Baterias automáticas com filtros de rejeição

Baterias para sistemas com elevada presença de harmônicos e pouca variabilidade de consumo.



OPTIM FRE

Baterias estáticas automáticas com filtros

Baterias para sistemas com elevada presença de harmônicos e alta variabilidade de consumo.



Harmônicos - Problemática e soluções

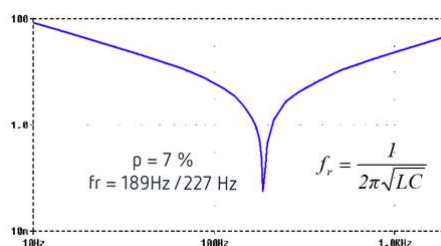
Circutor

21



OPTIM FR e FRE. Baterias com filtros de rejeição.

Eliminação de risco de ressonância (amplificação de harmônicos) e sobrecarga dos condensadores.



p%	fr	harmónico rejeitado
7%	189 Hz / 227 Hz	$h > 5^{\circ}$, $f > 250 \text{ Hz} / 300 \text{ Hz}$
14%	134 Hz / 160 Hz	$h > 3^{\circ}$, $f > 150 \text{ Hz} / 180 \text{ Hz}$

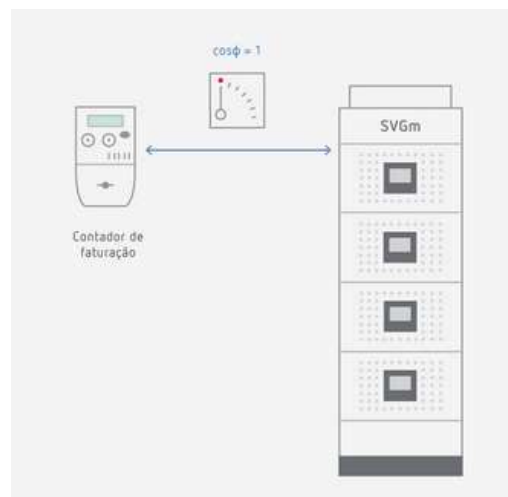
$$p(\%) = 100 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2$$

Circutor

22

SVGm - Compensa energia reativa indutiva e capacitiva em tempo real.

- Evita penalizações por **indutiva + capacitiva**. (até 100 kvar/Mural e 400 kvar em armário).
- Compensação sem passos. Tempo de resposta **<20 ms.**
- **Imunidade total perante distorção harmônica.**
- Não gera transitórios de arranque.
- Manutenção mínima.



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

23

SVGm - Compensa energia reativa indutiva e capacitiva em tempo real.

2 Soluções: **tipo rack e mural**

Para redes de 50/60 Hz.

4 fios 3P+N: 230-400-550 V fase-fase $\pm 10\%$.

3 fios 3P: 230-480-690V fase-fase $\pm 10\%$.

Tipo mural

30 kvar

60 kvar

100 kvar

Tipo rack (armário)

100 kvar

200 kvar

300 kvar

400 kvar

Fácil de instalar: **colocação em funcionamento em 3 passos**

CONECTAR

CONFIGURAR

ARRANCAR



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

24

Onde o instalamos?

- Data centers
- UPS
- Aeroportos
- Hospitais
- Telecomunicações
- Indústria pesada



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

25

Filtros ativos AFQm- Funcionamento



Filtragem de harmônicos

Elimina as harmônicas, limpando a forma de onda da instalação.



Compensação de reativa

Ajuda a evitar penalizações por consumo de energia reativa.



Equilíbrio de fases

Diminui a circulação de corrente de neutro evitando aquecimentos, perdas de isolamento e disparos intempestivos.

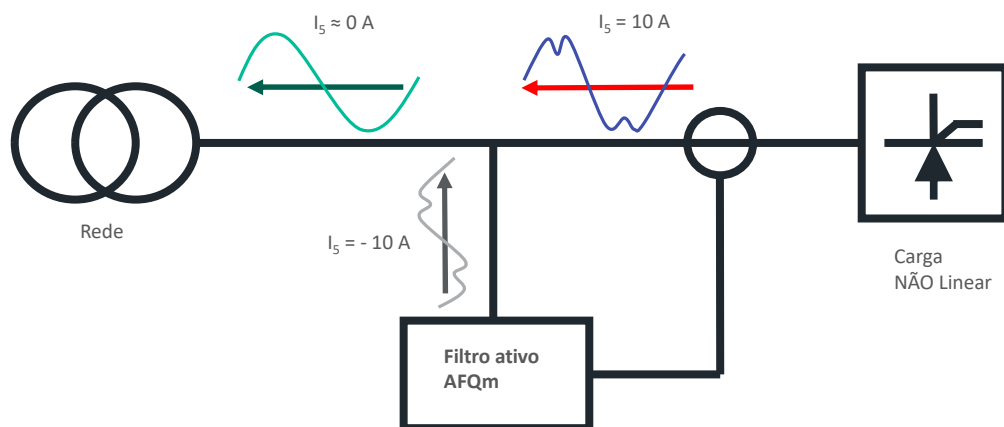
3 funções em 1 → Prioridade configurável pelo utilizador

Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

26

Princípio de funcionamento

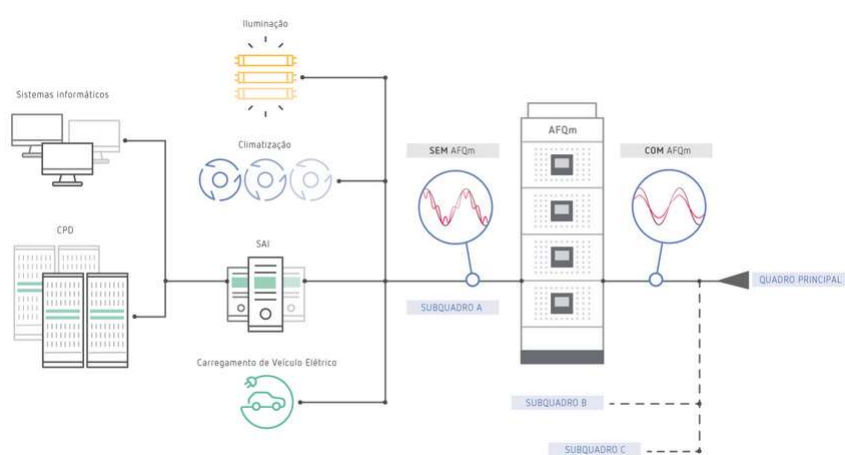


Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

27

Instalação tipo



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

28

Filtros ativos AFQm

- Compensação sem passos instantâneos **<20 ms.**
- **Imunidade total perante a distorção harmónica.**
- Não gera transitórios de arranque.
- Manutenção mínima.



Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

29

Filtros ativos AFQm

2 Soluções: **tipo rack e mural**

Para redes de 50/60 Hz

4 fios 3P+N: 230 – 400- 550 V fase-fase $\pm 10\%$ 3 fios 3P: 230 – 480-690V fase-fase $\pm 10\%$ **Tipo mural**

30 A

60 A

100 A

Tipo rack (armário)

100 A

300 A

200 A

400 A

Fácil de instalar: **Colocação em funcionamento em 3 passos**

CONECTAR

CONFIGURAR

ARRANCAR



Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

30

AFQm - Aplicações



Instalações robotizadas



Indústria: VDF, Climatização...

Serviços: Iluminação LED,
Climatização, Elevadores...

Estações de bombagem

Escritórios, Data Centres:
Iluminação LED, UPS, Climatização

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

31

AFQm: Exemplo de Supermercado

Linhas de frio industrial (câmaras frigoríficas):



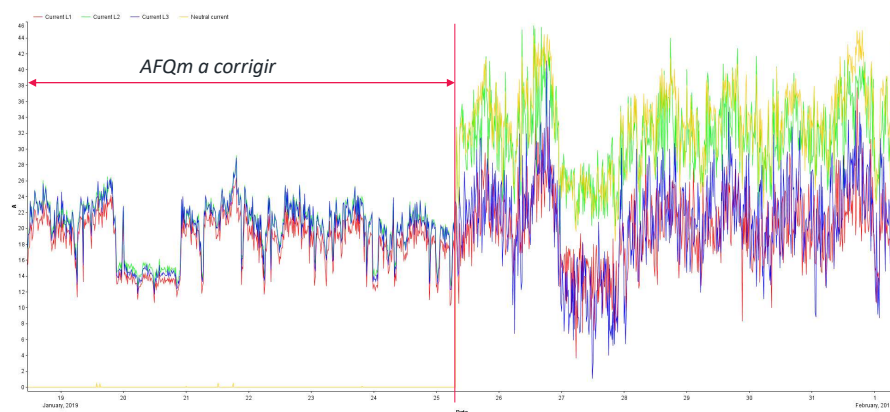
Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

32

AFQm: Exemplo de Supermercado

Linhas de frio industrial (câmaras frigoríficas):



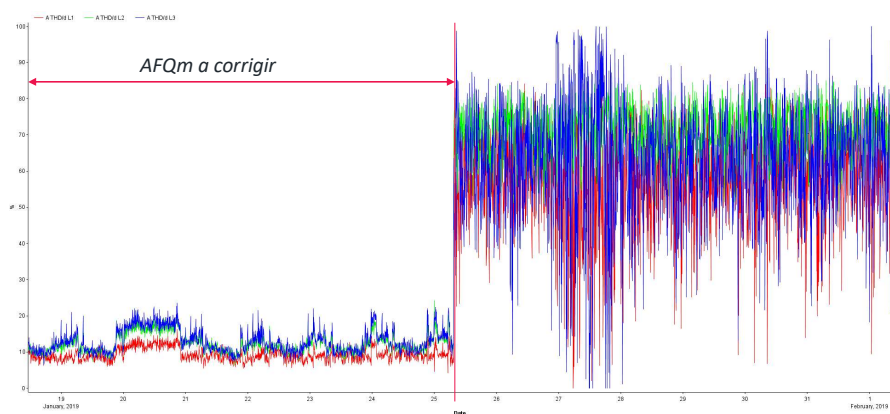
Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

33

AFQm: Exemplo de Supermercado

Linhas de frio industrial (câmaras frigoríficas):



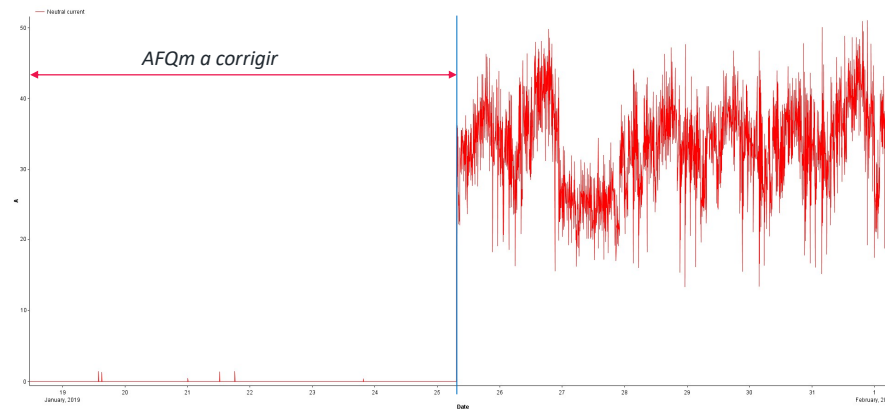
Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

34

AFQm: Exemplo de Supermercado

Linhas de frio industrial (câmaras frigoríficas):



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

35

Unidade AFQm em funcionamento

<https://afqm.circutor.com>

Circutor

36

Continuidade de serviço

Garantir a continuidade de serviço repercute-se enormemente sobre os níveis de produtividade.



Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

37

Tipos de diferenciais normalizados



Proteção Tipo AC

Deteta apenas corrente residual alternada.



Proteção Tipo A

Deteta corrente residual alternada e pulsante.



Proteção Tipo F

Deteta corrente residual alternada até 1 kHz e pulsante.



Proteção Tipo B

Deteta corrente residual alternada até 1 kHz, pulsante e corrente contínua pura.

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

38

O que significa relé ultraimunizado?



Margem de disparo entre 85%-100% da sensibilidade.

Um diferencial pode disparar acima de 50% do seu calibre (IEC 60947-2-M). Os equipamentos ultraimunizados asseguram o disparo a partir de 85%, só agem quando é necessário.



Resposta em frequência com filtração das fugas a altas frequências.

Filtra a corrente de fuga com frequências superiores a 50/60 Hz para evitar disparos causados por harmônicos.



Mais imunidade aos transitórios da rede até 3 kA para impulsos 8/20 μ s.

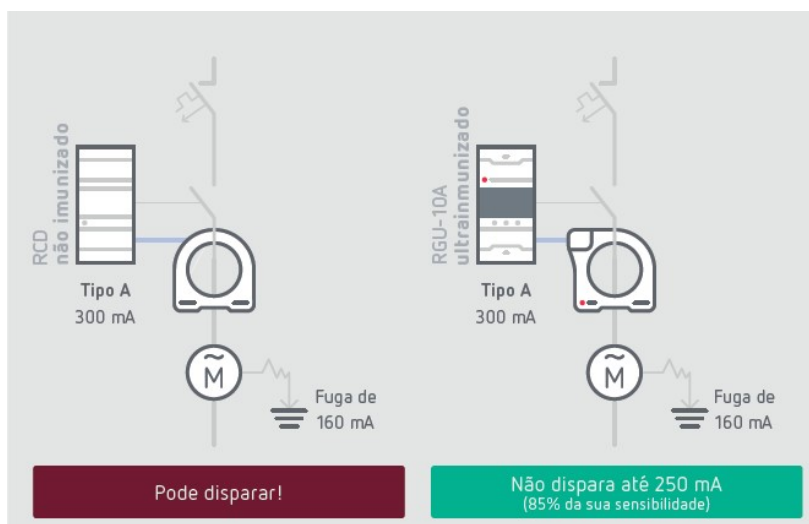
Evita disparos intempestivos perante fenômenos meteorológicos ou transitórios causados pela rede de distribuição.

Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

39

Sistema ultraimunizado



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

40

Onde instalar cada dispositivo

Proteção Tipo A

Instalações existentes com proteção direta ou indireta que **sofrem disparos intempestivos**.

Necessitam de sistema com **Diferenciais ultraimunizados**.

Proteção Tipo B

Instalações existentes com cargas CA/CC: Variadores, climatização, bombagem, câmaras frigoríficas, autoconsumo, carregamento de VE, etc.

Os fabricantes exigem a utilização de proteção tipo B

Religação

Doméstico (Frigorífico, congelador, piscina, segurança com equipamentos Wi-Fi,...).

Industrial (Linhas de produção, bombagem, iluminação,...)

Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

41

Visualização intuitiva

A monitorização da fuga em tempo real facilitando o seguimento ou evolução da corrente sobre a instalação. O display retro ilumina-se na cor **vermelha** quando dispara, facilitando a identificação da linha que sofreu o defeito. Através do novo display, identificamos mediante a retroiluminação em várias cores o modo de funcionamento no qual o equipamento se encontra no momento.

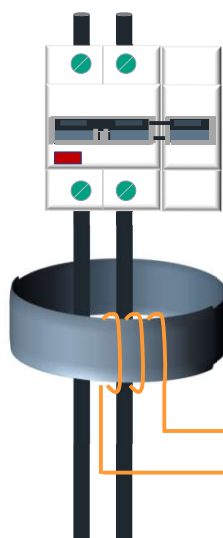


Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

42

Problemas se não instalar um tipo B em cargas com fuga em CC



A escolha do tipo diferencial é fator-chave para a correta proteção das cargas (instalações e pessoas)

Uma má escolha do tipo de diferencial pode pressupor:

Aparecem problemas com diferenciais classe AC e A em linhas onde a corrente de fuga tenha componentes de alta frequência muito importantes ou componentes em corrente contínua.

Perante esta situação o diferencial pode comportar-se de duas formas:

- torna-se sensível perante a corrente mínima CC e **causa disparos intempestivos**
- fica bloqueado (cego) e **não dispara perante uma fuga superior ao valor de disparo (perigo mortal!)**

Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

43

Que cargas necessitam de proteção Tipo B?

- Micromaster 420
- Siemens



- Série SLC Elite Max
- Salicru



- AFQm
- Circutor



- Carregadores VE
- Circutor



- Inversor FV
- Fronius



Harmónicos - Problemática e soluções

Circutor

44

Como evitar paragens de serviço de forma automática?

45

Sistemas de religação automática

Proteção **tipo A**
REC4



CARGA

Proteção **tipo A**
RECmax CVM



Proteção **tipo B**
RECB



Harmónicos - Problemática e soluções

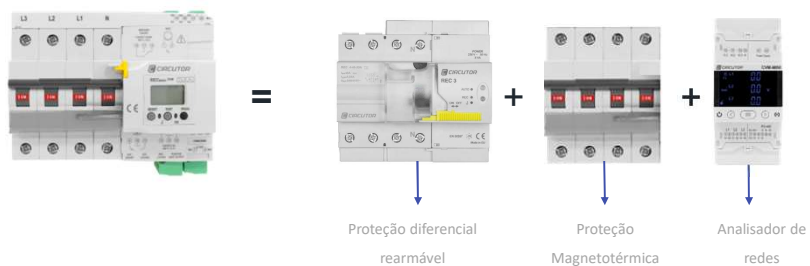
Circuitor

46

RECmaxCVM – Religação automática

Disjuntor magnetotérmico diferencial com religação automática e medição

3 equipamentos numa mesma envolvente



Harmônicos - Problemática e soluções

Circutor

47

Circutor | The Future is Efficiency



circutor.com

48