

# A ANTENA "MAGNETIC LOOP"

Por PY4ZBZ em 5/10/2003 Rev. em 04-07-2010

Neste artigo vou descrever o principio da antena "Magnetic Loop", que doravante chamarei de **Magloop**.

Esta antena é muito interessante para operação portátil, devido ao seu tamanho reduzido, se comparado ao dipolo de meia onda. Se for corretamente construída, terá um ganho apenas ligeiramente inferior ao dipolo de meia onda (mas nunca igual ou maior!). E o mais importante, **NÃO precisa de plano de terra** ou "contra-peso" como por exemplo as antenas encurtadas com bobinas usadas para operação HF em automóveis.

A antena tem este nome de **elo magnético** pois na região de campo próximo predomina o campo magnético sobre o campo elétrico, devido a alta corrente dentro do elo. Mas na região de campo distante, onde ocorre a propagação convencional, os campos elétrico e magnético em nada se distinguem de qualquer outra antena e mantêm entre si a famosa relação de 377 ohms, também conhecida como impedância da onda eletromagnética.

Um ponto fraco desta antena é a sua banda passante muito estreita, o que dificulta um pouco a sua sintonia, mas é positivo para eliminação de interferências de frequências adjacentes. Outro ponto fraco é que a sua construção deve seguir um rígido padrão de qualidade, como será mostrado neste artigo.

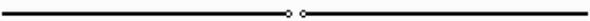
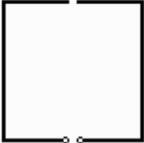
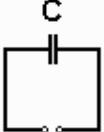
Veja uma foto de 5 antenas Magloop, construídas pelo nosso engenhoso colega [Alex, PY1AHD](#) (tem uma escondida debaixo do tampo da mesinha redonda branca !...). Alex está de camiseta branca na foto, e está segurando uma Magloop com capacitor de pistão com acionamento hidráulico feito com duas seringas, uma que aciona o capacitor variável e a outra que permite o comando a distancia via mangueira, na mão direita do Alex :



Para entender melhor como funciona esta antena, mostrarei a seguir que ela simplesmente equivale fisicamente a um dipolo encurtado e deformado de tal maneira que as suas extremidades fiquem próximas uma da outra e ligadas a um capacitor que permite a re-sintonia, compensando o encurtamento (diminuição da indutância) do condutor. A nova forma assumida pelo dipolo pode ser um quadrado (como na tabela seguinte), ou um octógono ou **melhor ainda, um círculo** (alguns até usam o formato triangular, mas é o que tem a menor eficiência).

Veja a tabela seguinte, que elaborei baseada em cálculos feitos (para condição de espaço livre) com o [MMANA](#) e o RJLOOP1 :

**Legenda:** **P** = comprimento (ou perímetro) do condutor, em comprimento de onda, **R<sub>r</sub>** = Resistência de radiação da antena, **G** = Ganho da antena em relação ao dipolo de meia onda e **B** = banda passante em % da frequência de ressonância . A primeira figura é o dipolo linear de meia onda e a última é o mesmo dipolo retorcido e encurtado para virar uma Magloop.

Formato da antena	P	Rr	G (dBd)	B (%F <sub>o</sub> )
	$\lambda/2$	73 $\Omega$	0	7
	$\lambda/2$	40 $\Omega$	-0,5	4
	$\lambda/2$	10 $\Omega$	-1	1
	$\lambda/4$	0,5 $\Omega$	-2	0,1

PY4ZBZ

Pode se observar facilmente o que acontece com os principais parâmetros da antena a medida que o dipolo linear original é deformado até as suas extremidades ficarem próximas e sem mudar o comprimento do condutor (da primeira até a terceira figura), e finalmente, reduzindo o comprimento do condutor, o que então necessita do capacitor C, para conseguir a sintonia na mesma frequência obtida com comprimento do condutor igual a meia onda, e resulta numa antena Magloop. O perímetro P desta ultima antena na tabela acima, que é uma Magloop, é de um quarto de onda, apenas para referencia de calculo, mas na pratica, este perímetro pode ser compreendido entre **10 e 90% de meio comprimento de onda**, ou seja, de **0,05 até 0,45 lambda**. ( $\lambda$ =comprimento de onda=velocidade da luz dividida pela frequência).

Pode se observar uma **ligeira queda no ganho, uma drástica redução da resistência de radiação assim como uma grande redução na banda passante**. Todas estas perdas de ganho e banda passante são compensadas pelo tamanho físico reduzido da antena, (tudo tem o seu preço, ou como já dizia Lavoisier: "Na natureza nada se cria, nada se perde: tudo se transforma ...")

O circuito elétrico equivalente do dipolo e da Magloop é um circuito ressonante **RLC**, onde **R** é a parte resistiva da impedância da antena (veja mais abaixo). Como no dipolo **R** é da ordem de 73 ohms e na Magloop **R** é menor que 1 ohm, a grande diferença entre as duas antenas é o fator  **$Q=2\pi FL/R$** , que será bem mais alto na Magloop do que no

dipolo. Isto faz com que a banda passante  $B=F_0/Q$  seja muito pequena na Magloop.(onde  $F_0$  é a frequência de ressonância da antena)

O ponto mais **crítico é a baixíssima resistência de radiação  $R_r$**  da Magloop, tornando praticamente impossível a sua alimentação pelos dois terminais mostrados na figura. Precisaríamos de um acoplador de antenas especial com baixíssima impedância de saída e alta capacidade de corrente de saída, não sendo apropriados os acopladores convencionais.

**É então preciso transformar esta baixíssima  $R_r$  em um valor próximo de 50 ohms, diretamente na própria antena Magloop**, o que pode ser feito de diversas maneiras, primeiro fechando estes dois pontos em curto-circuito e depois usando acoplamento em Gama-match, ou um transformador toroidal ou um transformador de impedância que usa como um dos enrolamentos a própria espira constituída pela antena e como enrolamento secundário outra **espira, de diâmetro menor**, e com **relação entre diâmetros tal que se consiga a desejada transformação de impedância**. Esta relação pode ser calculada (junto com outros parâmetros) com os programas listados mais adiante.

**Não precisa de nenhum contato elétrico entre estas duas espiras, e a [espira menor não precisa ser blindada](#)**, como afirmam alguns autores, para supostamente cancelar ruídos, pelo uso de um elo de Faraday, pois o ruído (e o sinal, é claro!) é captado pela espira principal e esta obviamente não pode ser blindada!. A blindagem da espira de acoplamento não tem utilidade alguma, como por exemplo, não evita ruídos de origem elétrica (campos elétricos), como está muito bem explicado [aqui](#) e também [aqui](#). Somente a **diretividade** da antena (a Magloop é bidirecional, veja diagrama abaixo) e a **polarização** da antena (a Magloop, na posição vertical, como na foto abaixo, gera onda polarizada verticalmente na direção dos lados e horizontal na direção do eixo do círculo, veja mais adiante), é que permitem rejeitar ou minimizar determinados ruídos, mas desde que a fonte de ruído fique numa direção diferente e/ou tenha polarização diferente da fonte de sinal. A blindagem de uma antena loop só melhora a profundidade dos NULOS do diagrama, o que é importante em radiogoniometria.

Esta solução **da espira de acoplamento** é a mais simples construtivamente, sendo uma das mais usadas na pratica, como pode ser visto na foto acima. Girando o plano desta espira em relação ao plano da espira principal, também permite um ajuste fino da impedância característica resultante e conseqüentemente o ajuste da ROE, relação de ondas estacionarias.

**IMPORTANTE:** o sistema de acoplamento da Magloop, qualquer que seja ele, permite transformar o baixo valor de  **$R_r+R_p$  da espira principal** em um valor próximo de **50 ohms** (ou também 75 ohms ou qualquer outro valor). **Mas na espira (ou loop) principal, a  $R_r$  continua baixíssima ! Todos os programas específicos para Magloop calculam o valor de  $R_r$  e  $R_p$  na espira principal.** Por exemplo, no resultado de calculo da tabela abaixo,  **$R_r=0,0915$  ohms e  $R_p=0,1082+0,0016=0,1098$  ohms**. A eficiência é  $0,0915/(0,0915+0,1098)=45,4\%$ . A espira de acoplamento transforma a resistência total  **$R_r+R_p$  de  $0,0915+0,1098=0,2013$  ohms em 50 ohms**, ou seja, produz uma transformação de impedância de  $50/0,2013=248,4$  vezes. Portanto, ela **transforma os 0,0915 ohm de resistência de radiação  $R_r$  em  $0,0915 \times 248,4=22,7$  ohms** e transforma a **resistência total de perdas de 0,1098 ohms para  $0,1098 \times 248,4=27,3$**

**ohms. A soma desta nova  $R_r+R_p$  agora dá os 50 ohms desejados.** Se você calcular a eficiência com estes valores, que são apresentados pela espira de acoplamento ao cabo coaxial, você evidentemente vai achar exatamente o mesmo valor de 45,4% para a eficiência. Na prática, esta espira de acoplamento também vai inserir mais alguma pequeníssima perda ... Como nesta espira a corrente vai ser **raiz quadrada de 248,4 vezes menor** que na espira principal, ou seja,  $22,3/\sqrt{248,4}= 1,415$  Amperes, esta não precisa de ser feita com condutor grosso como a espira principal, sendo suficiente um condutor de cobre capaz de se auto-sustentar mecanicamente. Confira que 1,415 amperes em 50 ohms dá exatamente os 100 Watts usados para fazer o cálculo da corrente e tensão no capacitor da tabela abaixo! Obs.: A potência que você informa nestes programas apenas serve para calcular a tensão no capacitor e a corrente no capacitor ou no loop.

## Um pouco de teoria básica sobre antenas: ROE e Eficiência.

Toda antena apresenta nos seus terminais uma impedância  $Z=R+jX$ , constituída de uma parte resistiva  $R=R_r+R_p$  cujo valor é a soma da resistência de radiação  $R_r$  com a resistência total de perdas  $R_p$ , e uma parte reativa  $jX$  (indutiva ou capacitiva), e que deve ser a menor possível, idealmente zero quando a antena esta na frequência de ressonância.

**A EFICIÊNCIA de uma antena (qualquer) é a RELAÇÃO entre a sua resistência de radiação  $R_r$  e a soma da resistência de radiação  $R_r$  com a resistência de perdas  $R_p$ . A eficiência é  $E_f=R_r/(R_r+R_p)$ , em valor por unidade. Em dB, é igual a 10 vezes o log decimal desta relação.**

Por exemplo, se a resistência de perdas for igual a resistência de radiação, a eficiência é de 0,5 ou 50% ou -3dB ou meio ponto S. Se a resistência de perdas for igual a um décimo da resistência de radiação, a eficiência é de 91% ou -0,4dB. Se a resistência de perdas for igual a um centésimo da resistência de radiação, a eficiência é de 99% ou -0,04dB. Somente se não houvesse nenhuma perda a eficiência seria de 1 ou 100%. Como um ponto S vale 6dB, podemos concluir que é impossível notar alguma diferença para eficiência melhor que 90%.

Numa Magloop como a da foto abaixo, a resistência de radiação  $R_r$  é de **apenas 0,0915 ohms** ! Portanto, a soma de TODAS as resistências de perdas (condutor, contatos, dielétrico, efeito do solo etc..) deve ser menor que **91,5 miliohms para que a eficiência seja maior que 50% !**

Portanto, para termos uma boa eficiência, é preciso que o **valor da resistência de perdas seja muito menor que o valor da resistência de radiação**. Como na Magloop, a resistência de radiação é geralmente **muito menor que 1 ohm**, é extremamente importante termos a resistência de perdas muitíssimo pequena (**na faixa de miliohms!**),

ou seja, devemos usar um **material muito bom condutor para a espira principal e um capacitor com baixíssima resistência de contato e baixa perda dielétrica.**

**Numa Magloop, a resistência de perda e a soma da resistência ôhmica dos condutores (incluindo o efeito pelicular), a resistência de fuga dos isolantes do capacitor, a resistência equivalente às perdas por histerese dielétrica no isolante do capacitor, e a resistência de perda causada pela proximidade do solo, para citar as mais importantes apenas.**

Obs.: Como um dipolo de meia onda tem uma  $R_r$  de aproximadamente 73 ohms, este pode ser feito até com arame de ferro e ter a praticamente a mesma eficiência do que usando fio de cobre, pois ambos os materiais terão resistência ôhmica muitíssimo inferior a 73 ohms... Por exemplo, um dipolo para 20 metros tem aproximadamente 10 metros de fio. Se for de cobre com 1,8 mm de diâmetro terá uma resistência ôhmica de 0,074 ohms. O efeito pelicular eleva este valor para aproximadamente 0,3 ohms. Portanto, este fio de cobre permite uma eficiência de  $73/73,3=0,995=99,5\%=-0,018\text{dB}$  ! Se o dipolo fosse feito com arame de ferro, cuja resistividade é 6 vezes maior que a do cobre, a eficiência seria de  $73/74,8=0,986=98,6\%=-0,06\text{dB}$ , ou seja, funcionaria da mesma forma, pois não seria possível detectar a diferença de 0,042dB! (obs.: estes cálculos desprezam o efeito do solo. Um ponto S do S-meter vale 6dB.)

Este é o **ponto crucial da Magloop : NÃO se pode usar capacitores com contatos moveis ou deslizantes** (pois estes contatos apresentam resistência de varias dezenas de miliohms). Por este motivo, são usados capacitores de **pistão** ou **borboleta** (butterfly). **Outro ponto crucial é a perda por histerese dielétrica no capacitor, portanto são melhores capacitores a vácuo ou a ar.** Não se deve usar nenhum outro tipo de dielétrico, principalmente sólido, como costuma ser usado nos capacitores de pistão. Para potencias de transmissão da ordem de **100 Watts**, a tensão que aparece no capacitor chega a ser da ordem de **10000 Volts** ! Portanto, o isolamento do capacitor (distancia entre as placas) deve ser de acordo, ou então opera-se QRP, em baixa potencia ...

O programa RJELOOP permite calcular a resistência de radiação e as resistências de perdas no condutor e causadas pelo solo. **Mas ele NÃO inclui as perdas nos contatos entre o loop e o capacitor, do próprio capacitor e nem as perdas por histerese dielétrica, pois considera o capacitor a ar ou vácuo.** Muitas vezes, numa antenna mal construída, estas resistências são maiores que a resistência do condutor e reduzem muito a eficiência.

Portanto, não adianta praticamente nada aumentar muito o **diâmetro do condutor principal** do loop, **se a sua resistência já for muito inferior a soma das demais resistências de perda.** Mas é importante que seja feito de cobre ou no mínimo de alumínio. Por exemplo, na antenna da foto abaixo, as perdas no condutor de alumínio de 9mm de diâmetro é de 0,271 ohms, bem maior que  $R_r$ , portanto dando uma eficiência de apenas 25% ou -6db (1 ponto S). Se fosse de cobre (polido e não oxidado), seria de 0,104 ohms e a eficiência seria de  $91/(91+104)=0,47=47\%=-3,3\text{dB}$ , ou seja, meio ponto S melhor. (todos estes cálculos valem para a antenna longe, mais de 3 metros, do solo e capacitor com perdas desprezíveis).

Lembramos que a **resistência de radiação**  $R_r$  de uma antena é uma das partes da resistência  $R$  que esta apresenta aos seus terminais, na frequência de operação (ressonância), e que **TRANSFORMA A ENERGIA ELÉTRICA (sob forma de corrente e tensão) recebida do gerador, em ENERGIA ELETROMAGNÉTICA (ondas de radio: Campos elétrico e magnético em fase e situados em planos ortogonais) e vice-versa**, ou seja, que também transforma **ENERGIA ELETROMAGNÉTICA em energia ELÉTRICA!**. A antena tanto funciona para transmissão como para recepção.

A outra parte é a **resistência total de perdas da antena**  $R_p$ , e **esta transforma a energia elétrica recebida do gerador em CALOR por efeito JOULE (e não em ondas EM, e por isso mesmo é perda !)**.

Por exemplo, se uma antena tem uma impedância de  $50+j0$  ohms, ou seja resistiva, e que estes 50 ohms são constituídos por 25 ohms de resistência de radiação mais 25 ohms de resistência de perdas, então esta antena irradia apenas metade da energia recebida do transmissor e desperdiça a outra metade sob forma de calor, ou seja, a sua eficiência é de  $25/(25+25)=0,5=50\%$ .

**Não confundir ROE com EFICIENCIA**, que são duas coisas totalmente **DIFERENTES**, mas que acabam ambas interferindo cumulativamente na quantidade de potencia efetivamente irradiada: a antena do exemplo anterior teria uma **ROE igual a 1**, com referencia a 50 ohms, ou seja, uma **ROE ideal**. Quando a **ROE é maior que 1**, isto significa que a antena está devolvendo parte da energia recebida do gerador de volta para o gerador, constituindo outro fator de perda, diferente da eficiência, mas que **REDUZ ainda mais a potencia efetivamente irradiada pela antena**. A relação entre a potencia devolvida (ou refletida) e a potencia incidente é igual ao **quadrado de  $(ROE-1)/(ROE+1)$**  e é chamada de **coeficiente de reflexão de potencia**. Por exemplo, se esta antena tivesse uma impedância de  $100+j0$  ohms, a sua ROE seria igual a 2, e 11% da potencia incidente seria devolvida para o gerador, ou seja, a antena somente fica com 89% da potencia disponível. E estes 89% agora são **multiplicados** pela da eficiência da antena, que se for por exemplo de 50%, resulta em apenas  $89\% \times 50\% = 44,5\%$  de energia irradiada.

Portanto, não basta apenas a ROE ser a menor possível (próxima de 1), mas é preciso ao mesmo tempo ter uma alta eficiência ! A **ROE depende da impedância complexa da antena  $R+jX$**  onde  $R=R_r+R_p$  e  $jX$  é a reatância indutiva ou capacitiva equivalente, enquanto que a **eficiência depende da relação  $R_r/(R_r+R_p)$** . Por exemplo, se uma antena tem uma impedância de  $50+j0$  ohms, a sua ROE será de 1 em 50 ohms, ou seja, perfeita. Se estes 50 ohms resistivos da antena fossem compostos de 0 de  $R_r$  e 50 de  $R_p$ , esta antena teria **EFICIÊNCIA ZERO**, não irradiando absolutamente nada (só calor!), apesar de ter uma ROE igual a 1.

Se a parte reativa da impedância da antena for desprezível, se demonstra matematicamente que então a **relação de ondas estacionarias ROE (SWR em inglês) é  $ROE=R/Z_c$  ou  $Z_c/R$** , o que for maior (pois a ROE vai de 1 ao infinito), onde  $Z_c$  é a impedância característica nominal de referencia (e que deve ser a impedância característica do cabo e do transceptor).

**Obs.:** existe um certo vício de linguagem ao se expressar o valor da ROE : tem gente que diz por exemplo, "a ROE da minha antena é **1,3 por 1**", o que alias não está errado. Apenas a expressão "**por um**" não acrescenta nenhuma informação, pois  $1,3/1 = 1,3$ . Portanto, basta dizer "**a ROE é 1,3**". Matematicamente, a ROE é um valor ADIMENSIONAL, ou seja, não tem unidade, pois corresponde por definição à **relação entre a tensão máxima (ventre) e a tensão mínima (nó)** presentes ao longo da linha de transmissão:  $ROE = V_{max}/V_{min}$ . A expressão "por um" serve apenas para reforçar o fato de que se trata de um valor adimensional, também chamado "por unidade". Como  $V_{min}$  não pode ser maior  $V_{max}$ , a **ROE é um numero sempre maior que um ou no mínimo, igual a um**, quando  $V_{max} = V_{min}$ , a condição ideal numa linha de transmissão.

**IMPORTANTE:** O que foi afirmado acima, em relação a potencia refletida pela antena, que é TODA perdida e não irradiada (pois é toda dissipada na resistência interna do transmissor), é considerando o transmissor com impedância interna casada com a impedância característica do cabo, sem o uso de acoplador de antena, que uma Magloop bem projetada dispensa completamente ! Ou seja, transmissor de 50 ohms ligado a um cabo de 50 ohms, por exemplo.

## Programas para cálculos específicos em Magloop:

O **melhores** programas para cálculos com Magloops são de autoria de [G4FGQ \(SK\)](#): o [RJLOOP1.EXE](#) (1997) e o [MAGLOOP4.EXE](#) (2000) (ambos for DOS). Permitem calcular para P de até meia onda (0,5 lambda) no formato circular, octogonal e quadrado, e incluem resistência de perda causada pela proximidade do solo. Mas somente calculam para condutores de cobre. O [RJLOOP2](#) permite calcular loops quadrados de uma espira até 0,75 lambda e o [RJLOOP3](#) calcula loops com mais de uma espira, mais usadas apenas para recepção, devido a sua baixa eficiência.

Outro programa de autoria de [HB9ABX](#) : o LOPABXE.EXE (for DOS). Calcula para P menor que 0,27 lambda, mas não inclui efeito do solo.

Outro programa de [AA5TB](#) : o [LOOP27.EXE \(for DOS\)](#). (não inclui efeito do solo e não leva em conta a capacidade distribuída do próprio condutor do loop (erro que faz com que o valor do capacitor de sintonia seja calculado errado, para mais), mas permite ao usuário "chutar" um valor para resistência de perda adicional como solo, contatos do capacitor, etc...).

Outro programa de [KI6GD](#) : Magnetic loop antenna calculator (for Windows). Calcula para P até 0.33 lambda, e permite cálculos com cobre ou alumínio, e formas circular, octogonal e quadrada.

Todos estes programas calculam parâmetros específicos da Magloop como  $R_r$ ,  $R_p$ , eficiência, corrente no loop, tensão no capacitor e o seu valor em pF, e etc...(veja exemplo mais adiante). Se você precisar do diagrama de irradiação da antena e outras informações, você deverá usar o [MMANA](#) ou outro baseado no Método dos Momentos.

## Antena Magloop experimental:

As figuras seguintes, feitas com o MMANA, mostram o diagrama de irradiação de uma Magloop (com 1 metro de diâmetro, da foto abaixo, e posicionada verticalmente 3 metros acima do solo), e as curvas da impedância ( $R+jX$  onde  $R=R_r+R_p$ ) e ROE em função da frequência. Observe como a banda passante da antena é estreita : no caso da ordem de 10 kHz para  $ROE < 3$ .

Nessa primeira figura, o diagrama dentro do círculo se refere ao diagrama de radiação no plano HORIZONTAL, com a antena no plano vertical. Ou seja, é o diagrama visto bem de cima da antena, projetado no solo. São representados os componentes V e H do campo elétrico. Ela irradia mais pelos LADOS ! (o zero em cima do diagrama; a antena seria vista como uma RETA no eixo Y ) ou seja, irradia o máximo nas direções que saem do centro do círculo e passando pelo próprio círculo formado pela antena. Numa direção perpendicular ao plano que contem o círculo, a irradiação é menor ou mínima. Se você olhar para a antena, que está no plano vertical, de tal forma a ver o círculo formado por ela bem de frente, então você está na direção na qual ela irradia menos. O diagrama da componente V se assemelha ao de um dipolo que estivesse passando por dentro do círculo formado por ela, como se o dipolo fosse o EIXO de uma RODA formada pela magloop, mas com a grande diferença que o dipolo geraria uma componente H !

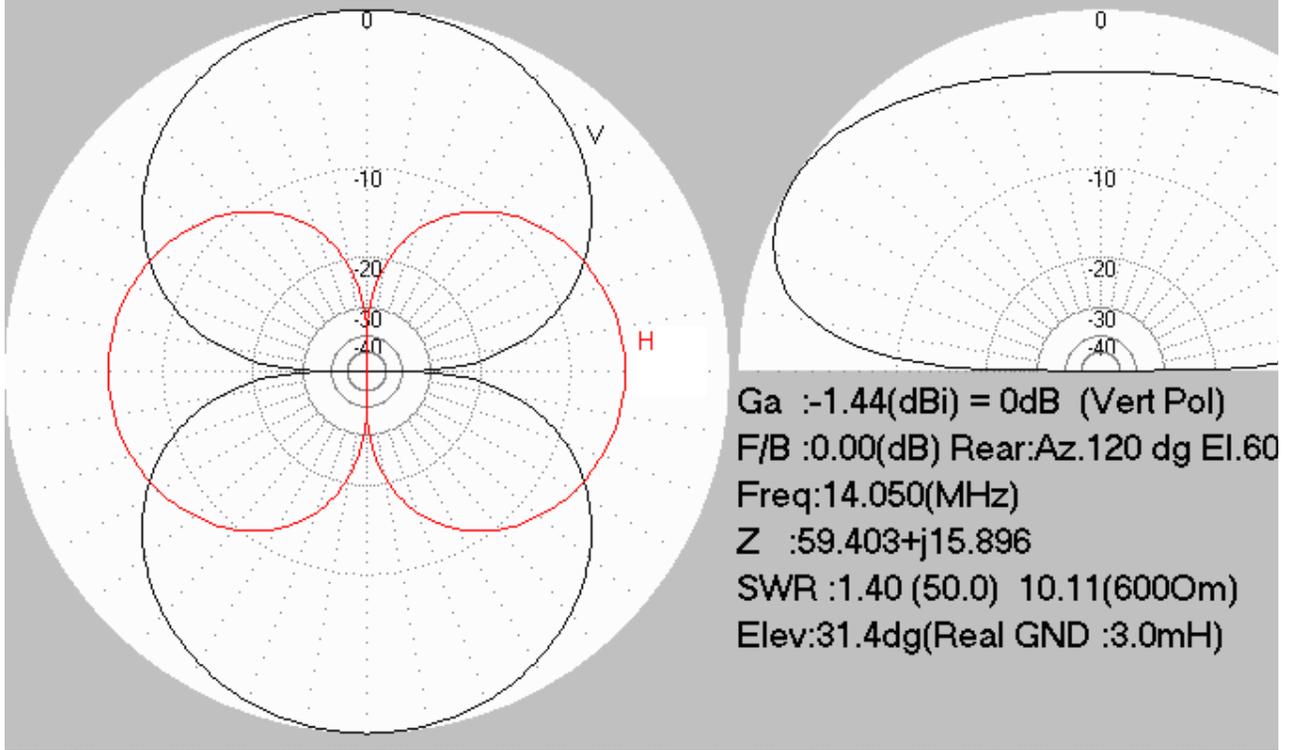
No sentido do eixo a componente total é mínima, constituída exclusivamente da componente H, que porém é MENOR que a componente V nas direções dos máximos de irradiação, e onde a V é exclusiva ! Nas demais direções, temos um misto de polarização V e H. É fácil entender porque esta componente no sentido do eixo é horizontal, pois a magloop nada mais é que um dipolo retorcido até virar um círculo !

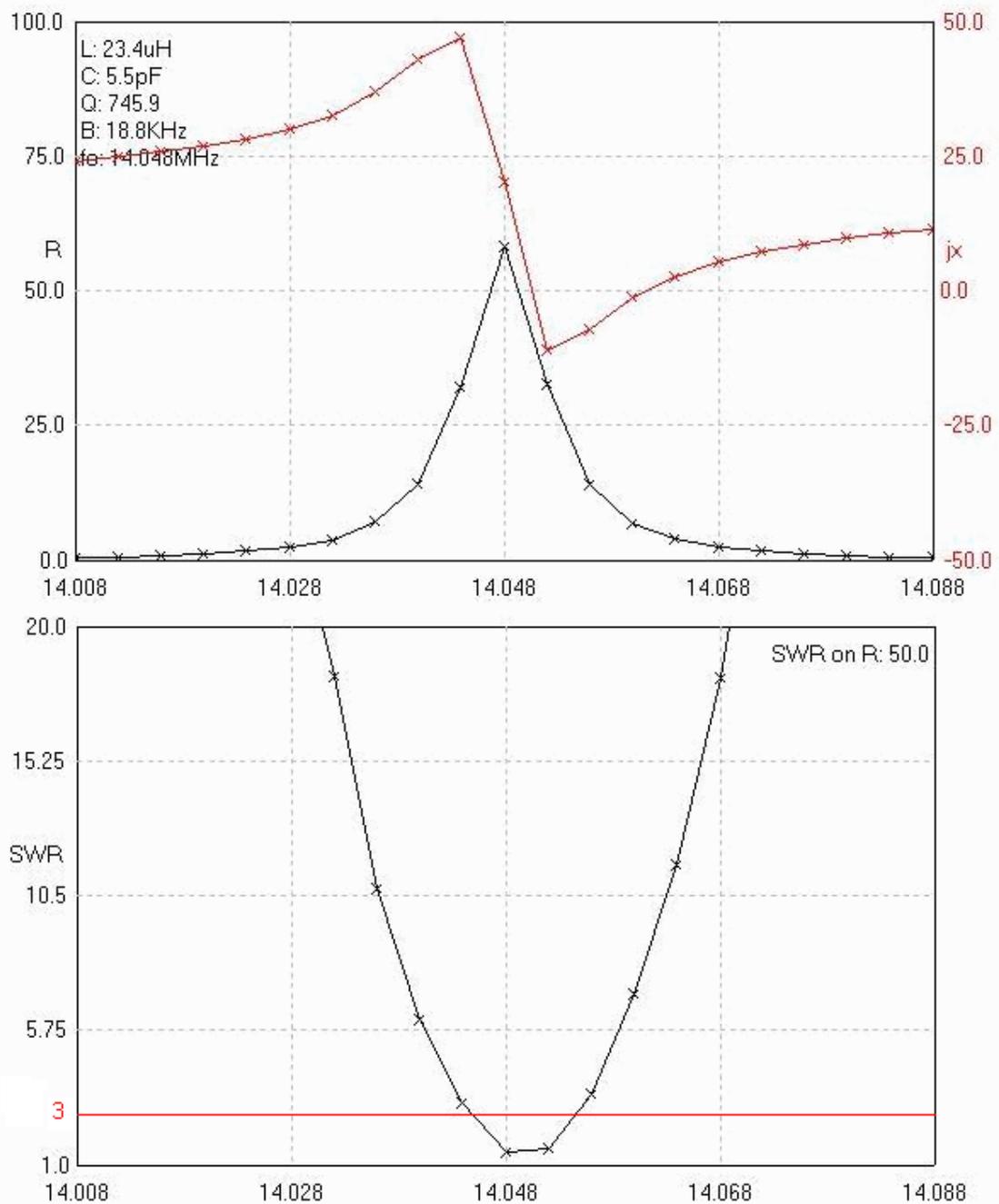
Por isso, há muita confusão : tem gente que diz que a polarização da magloop posicionada verticalmente é vertical, outros dizem que é horizontal ! Ambos tem metade de razão, com a sutil diferença que acabei de explicar !

**IMPORTANTE:** Tudo que escrevi só vale com o capacitor na parte mais alta OU mais baixa do círculo !

Agora, se você deitar a magloop de tal forma que ela fique paralela ao solo, então ela terá um diagrama de irradiação ONIDIRECIONAL no plano horizontal, da mesma forma que um dipolo vertical (ou uma 1/4 de onda vertical com plano de terra). O diagrama no semicírculo é o do plano vertical, com a antena no plano vertical e a 3 m do solo.

MagLoop 20m, 50 Ohm feed





PY4ZBZ

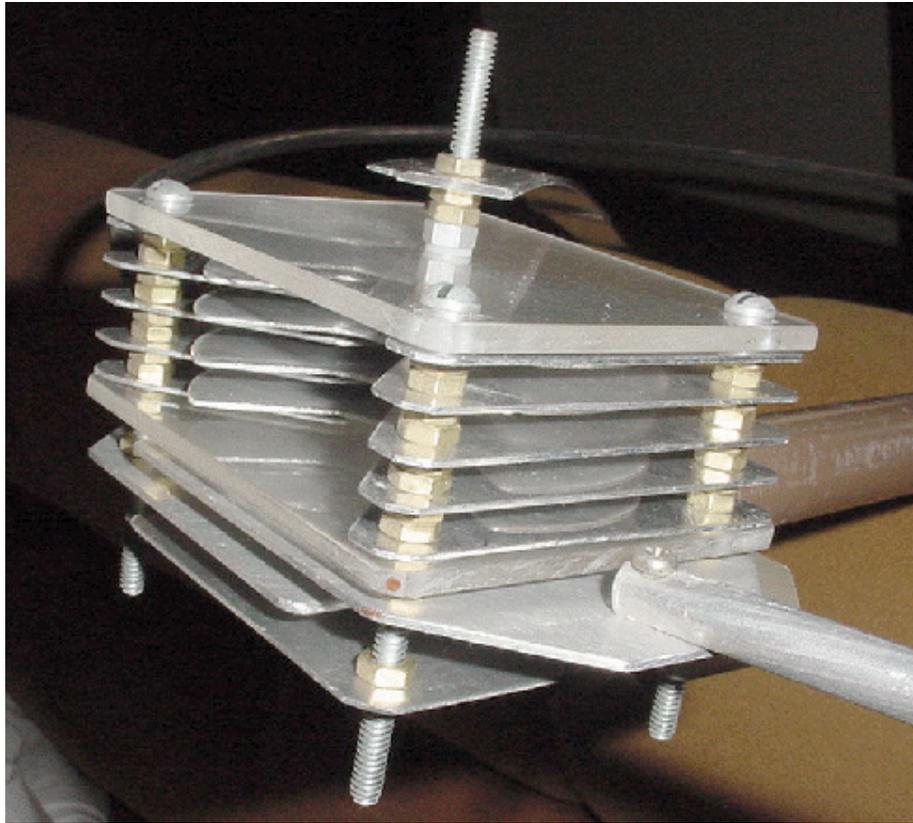
A foto seguinte é de uma Magloop de construção caseira, com 1 metro de diâmetro, tubo de alumínio de 9mm de diâmetro e espira de acoplamento de 18 cm de diâmetro. O capacitor variável, item de fundamental importância, também é de construção caseira, veja detalhe na próxima foto.



Esta antena, se fosse feita com tubo de cobre de 9mm de diâmetro, apresentaria os seguintes valores, calculados com o RJELOOP:

S. Shape of loop .....		CIRCLE
P. Perimeter or circumference of main loop, metres .	3.10	
D. Diameter of loop conductor, mm .....	9.0	
H. Height of lowest part of loop above earth, metres	2.0	
F. Frequency of operation, megahertz .....	14.200	
T. Transmitter output power, watts .....	100.0	
Electrical length of loop ...	0.147	wavelengths at operating freq.
Inductance of main loop .....	2.96	micro-henrys
Coupling loop diameter .....	0.17	metres to match to 50-ohm feeder
Turns ratio on coupling xfmr.	15.8	to 1 .. .. .. ..
Tuning capacitor setting ....	39	pico-farads at resonance
Current in main loop .....	22.3	amperes rms, opposite capacitor
Voltage across capacitor ....	8038	peak volts
Transmitting bandwidth .....	10.8	kilo-hertz between 3dB points
Radiation resistance .....	0.0915	ohms distributed around loop
Conductor RF loss resistance	0.1082	.. .. .. ..
Ground proximity losses .....	0.0016	.. .. .. ..
Transmission efficiency .....	45.47	percent of power input
Loss relative to ideal loop .	3.4	dB = 0.6 "S"-points

Um pouco de teoria básica sobre capacitores:

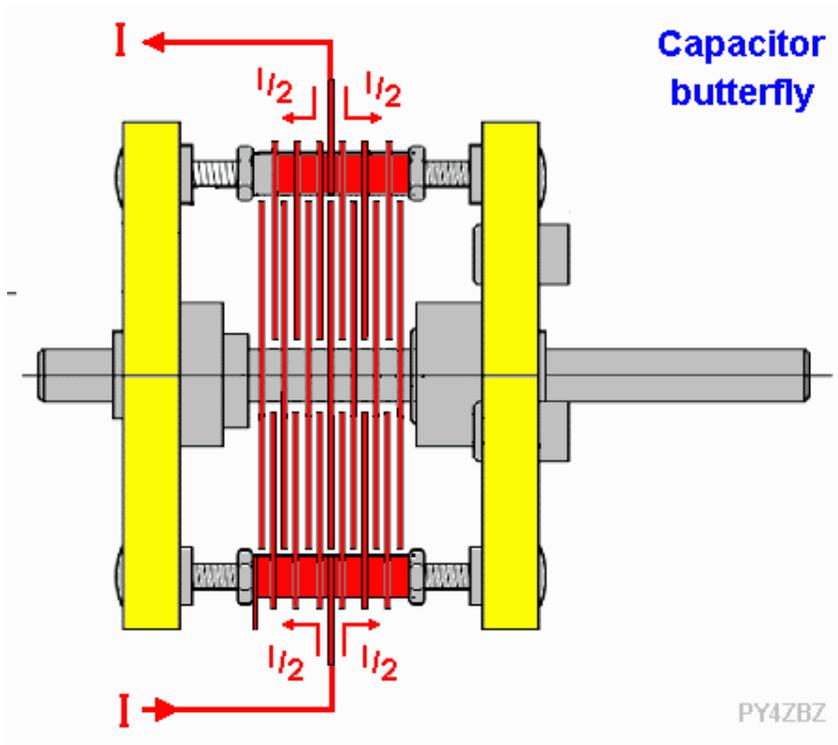


Detalhe do capacitor variável: observe uma parte **fixa com três placas** e a parte **variável tipo borboleta, sem contatos moveis ou deslizantes**. Suporta 15000 volts (2x2,5mm de espaçamento) e varia de 20 até 50 pF, permitindo cobrir de 18 a 13 MHz com o loop de 1 metro de diâmetro. Observe também a grande área de contato do condutor com o capacitor, para ter a menor resistência de contato possível.

Lembramos que a capacitância em pF (pico-Farad) de um capacitor plano de duas placas com área comum de sobreposição **A** cm quadrados e separadas por **D** cm de ar é:

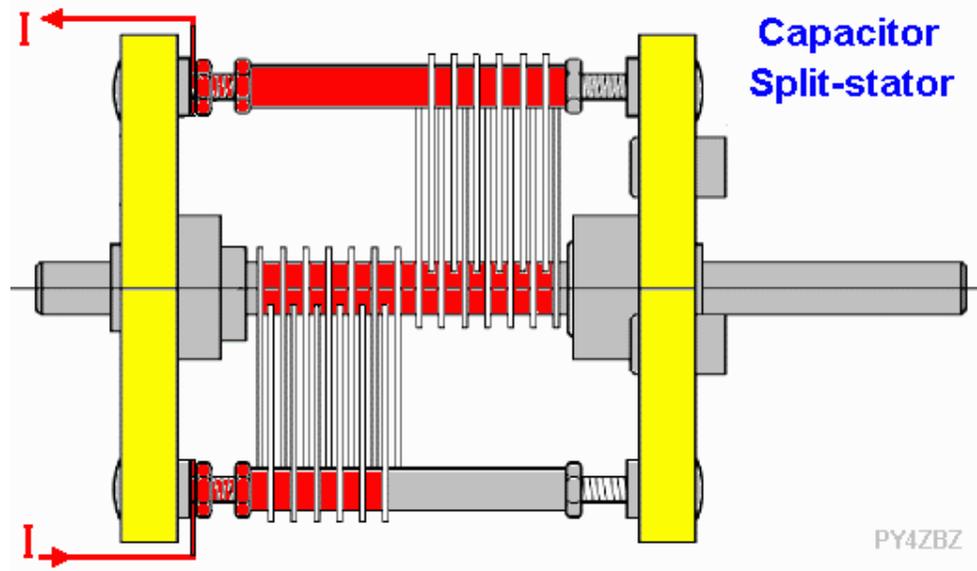
$$C \text{ (pF)} = 0,0885 \times A / D$$

Esta construção com duas partes reduz a corrente na parte variável desviando parte desta corrente para a parte fixa, resultando em menos perdas nos **contatos FIXOS das porcas (muito bem apertadas...) com as placas fixas, tanto da parte fixa como da parte variável do capacitor**. Observe na tabela anterior que a corrente no capacitor (e no loop principal todo) é da ordem de **22 Ampères**, para 100Watts de potencia RF !... As placas moveis da parte variável, em forma de **borboleta (butterfly) somente serão atravessadas LONGITUDINALMENTE pela corrente, não precisando de nenhum contato elétrico entre elas** (mas que pode existir, como no caso deste, o que não muda nada pois todas elas estão no mesmo potencial):



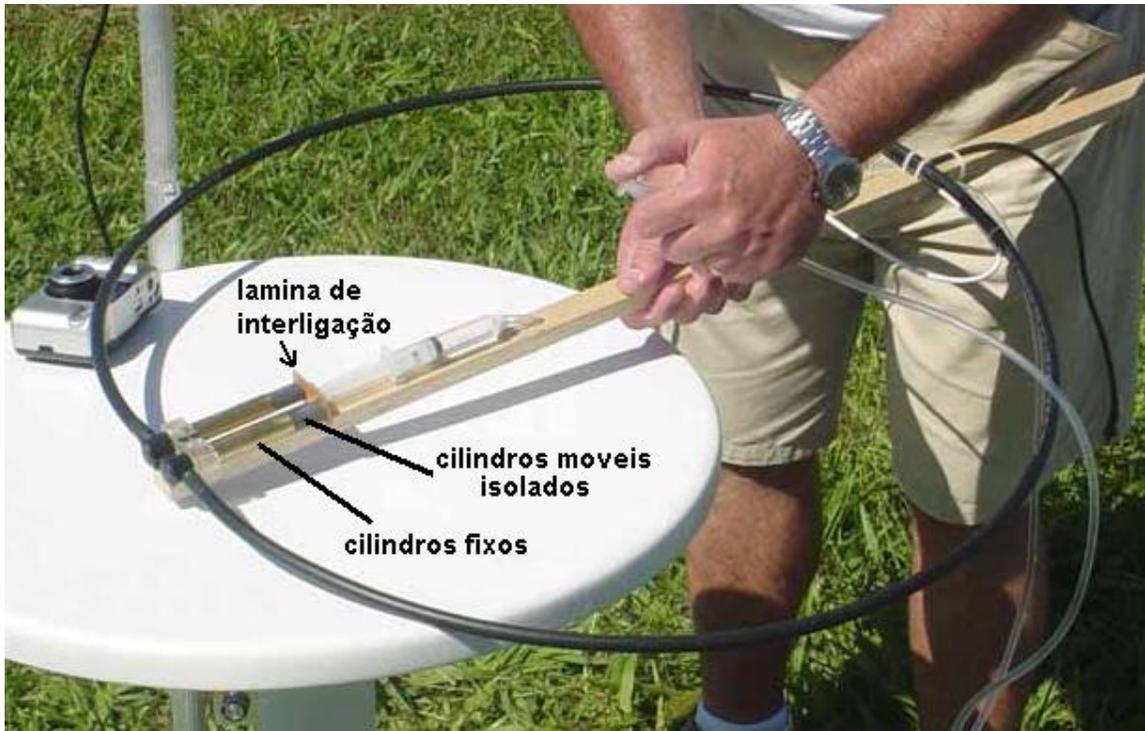
Colocando os bornes dos estatores no meio, como na figura anterior, diminui-se por **4** o efeito das resistências de contato entre as placas fixas, pois a corrente é duas vezes menor e em duas vezes menos pontos de contato. Isto evidentemente pode ser feito também no capacitor Split-stator, mas **é impossível ficar livre dos contatos do rotor**, como mostrado a seguir.

O capacitor variável tipo **Split-stator** é **muito inferior ao butterfly**, porque a corrente tem que atravessar **todos os pontos de contato entre as placas do rotor** (além das próprias placas é claro !, como no caso anterior), oferecendo muito mais resistências de contato do que no butterfly (pontos marcados em vermelho no eixo do rotor do split-stator) :



Dos capacitores **sem contatos moveis ou deslizantes**, o capacitor de **pistão** é o melhor de todos em termos de **menor resistência nos contatos fixos**, principalmente se for feito com tubos de cobre soldados. Um exemplo deste capacitor é usado na antena que está na mão do Alex, na primeira foto: somente tem quatro pontos de contato fixos, dois para ligação dos cilindros fixos com o loop, e dois para interligar em serie o dois pistões moveis. O ponto fraco deste capacitor cujo detalhe pode ser visto na foto seguinte, é o isolante sólido que usa para separar os dois condutores tubulares que formam as placas do capacitor, e não **ar** (o que é mais fácil de construir). Qualquer isolante sólido (ou liquido) introduz muito mais perda por histerese dielétrica do que o ar. Já fiz experiências com fibra de vidro, que é um excelente isolante, mas que com 50 Watts esquentou a ponto de não poder por a mão, comprovando a alta perda por histerese dielétrica (veja adiante a altíssima potencia reativa à qual o capacitor da Magloop é submetido). Alias, é assim que um forno de micro-ondas cozinha o frango : gerando calor dentro do frango pelo atrito causado pela mudança de polarização das moléculas, F vezes por segundo, e que não conseguem mudar instantaneamente de posição por causa deste atrito, donde o nome de **HISTERESE** ou atraso na polarização do dielétrico (ou isolante).

Detalhe do capacitor de pistão (com acionamento hidráulico), construído pelo Alex PY1AHD:



A potencia reativa em jogo no capacitor da Magloop, no exemplo da tabela de calculo anterior, é de:

$$22,3 \text{ A} \times 8038 \text{ V} = 179247,4 \text{ VA} \text{ ou } 179 \text{ KiloVoltAmperes} !!!$$

isto com apenas **100 Watts de RF** ! Por isso é que o dielétrico usado deve ser de qualidade **extremamente alta no que diz respeito à perda por histerese dielétrica**, e que somente o ar seco ou o vácuo permitem atingir.

Um colega certa vez me diz, quando lhe mostrei esta conta: " Roland, você está criando energia, isto está errado e impossível !. Como 100 Watts podem se transformar em 179000 VA ? ". Pela própria pergunta percebi que ele não sabia distinguir potencia ATIVA (expressa em Watts) e que produz TRABALHO ou ENERGIA e é DISSIPADA num RESISTOR, de potencia REATIVA (expressa em VA), que é uma TROCA de energia entre elementos conservativos de energia como o CAPACITOR e o INDUTOR e que NÃO produz trabalho e por isso mesmo é chamada energia reativa. Esta troca ocorre duas vezes num ciclo da tensão ou corrente alternada, uma em cada alternância. **O valor médio da potencia ativa é positivo e corresponde a esta potencia, pois é constituída de valores instantâneos sempre positivos (PHI=0). Já o valor médio da potencia reativa é zero, pois tem valores instantâneos positivos e negativos iguais(PHI=90graus).**

Tensão V e corrente I no capacitor são defasados 90 graus. Na primeira metade do semi-ciclo positivo da tensão, o produto VI é positivo, o que significa que o capacitor absorve energia pois está se CARREGANDO. Na segunda metade deste semi-ciclo, o produto VI é negativo, pois V é positivo e I é negativo, o que significa que o capacitor está

devolvendo a energia que estava armazenada nele, se DESCARREGANDO. Isto se repete novamente no semi-ciclo negativo da tensão. O capacitor apenas fica TROCANDO energia com o gerador, não dissipando nada (se não tiver perdas). O produto  $VI$  no capacitor perfeito não resulta em potencia ativa, mas em potencia reativa e é expressa em VA (VoltAmpère).

**Para que a energia seja dissipada de alguma forma como calor, trabalho etc..., é preciso que tensão e corrente estejam em fase como acontece num RESISTOR, ou pelo menos, que o defasamento seja menor que 90 graus.** Neste caso, a potencia dissipada é  $V\cos\text{PHI}$  (PHI é o angulo de defasamento) e é expressa em Watts. Num capacitor de má qualidade, o defasamento entre V e I não é 90 graus, então  $V\cos\text{PHI}$  resulta numa potencia ativa que corresponde as perdas no capacitor, sendo toda transformada em calor. E o produto  $V\text{sen}\text{PHI}$  corresponde a potencia reativa no capacitor. O **produto VI, independentemente do co-seno de PHI, é chamado potencia aparente**, também expresso e VA.

**Mas se o ar (ou o vácuo) é quase infinitamente superior a qualquer outro isolante no aspecto de ter perda por histerese dielétrica praticamente nula, deve ter algum ponto negativo ?**

**E tem mais de um!** Para citar só os parâmetros que interessam num capacitor: a **rigidez dielétrica D** (ou capacidade de suportar tensão) do ar é de 30 kV/cm, sempre inferior à de qualquer outro bom isolante sólido ou liquido e certos gazes. Também a **constante dielétrica ou permissividade relativa E** (quantas vezes aumenta a capacitância de um capacitor a ar quando se substitui o ar pelo isolante em questão) é mais baixa, sendo inclusivo tomada como referencia (1,00054 para o ar e 1 para o vácuo).

Por exemplo, o polietileno, isolante muito usado em cabos coaxiais, tem rigidez dielétrica de 450 kV/cm e tem constante dielétrica **E** de 2,25 , ou seja, suporta  $D_r=450/30=15$  vezes mais tensão para o mesmo espaçamento entre placas (ou espessura do isolante) e faz com que a capacitância seja 2,25 vezes maior apenas se trocarmos o ar pelo polietileno. ( **$D_r$**  é a rigidez dielétrica relativa ao ar do isolante)( a constante dielétrica **E** já é expressa em relação ao ar).

Ao retirarmos um isolante sólido entre as placas de um capacitor, devemos aumentar  **$D_r$**  vezes a distancia entre elas, para que continue suportando a **mesma tensão**. Isto causa uma redução de  **$D_r$**  vezes na sua capacitância, e que deve ser compensado com outro aumento de  **$D_r$**  vezes na área destas placas. Só isto aumentou  **$D_r$  ao quadrado** vezes o volume fisico ocupado pelo capacitor. E como a constante dielétrica do ar é **E** vezes menor que a do isolante sólido, a área das placas ainda deve ser multiplicada por **E** para que a **capacitância seja a mesma** de antes da troca do isolante.

Donde concluímos que um **capacitor a ar (ou vácuo) é  $E \times D_r \times D_r$  vezes mais VOLUMOSO**, do que o seu semelhante com isolante sólido. Por exemplo, um capacitor a ar será  **$2,25 \times 15 \times 15 = 506,25$  vezes** mais volumoso do que se usasse como dielétrico o polietileno, e isto tendo a mesma capacitância e suportando a mesma tensão. **Este é o preço que se paga para ter perdas por histerese dielétrica desprezíveis.** E para não perder o que ganhamos com o maior volume físico, devemos ter muito cuidado com as resistências de contato !

O **problema do capacitor da Magloop** é devido simplesmente ao fato de que ele é submetido a uma **altíssima potencia reativa**. Como a **perda no capacitor é proporcional ao co-seno do angulo de defasamento entre a tensão e corrente neste capacitor, multiplicado pela potencia reativa**, ou seja : **VicosPHI**, o que seria desprezível num circuito com baixa potencia reativa não o é mais no caso da Magloop.

Na Magloop, o capacitor deve ter ao mesmo tempo **baixíssima resistência de contato** (deve ter bons condutores e contatos, para suportar alta corrente) e **baixíssima perda por histerese dielétrica** (deve ter um ótimo isolante entre as placas, para suportar alta tensão e principalmente suportar alta potencia reativa).

**Não esquecer** também que no capacitor de pistão simétrico (dois iguais em serie) ou no capacitor borboleta, cada metade do capacitor deve ter o **DOBRO** da capacitância final desejada, pois estas duas metades estão em serie. É o preço que se paga para ficar livre dos contatos moveis ou deslizantes !

**Concluindo:** um capacitor que deve suportar uma tensão de 8000 Volts simultaneamente com uma corrente de 22 Ampères não é qualquer um, principalmente em radiofrequência !.

Links sobre magnetic loops no site do [Alex PY1AHD](#).

E aqui um ótimo exemplo de como fabricar uma [excelente magloop](#) !!!

73 de roland.