

A Resposta de Frequência e as Formas de Ondas*

Vejam como os pulsos, as ondas quadradas e as senóides se modificam ao atravessarem circuitos com restrições de frequência.

CARL BABCOKE

A maioria dos compêndios sobre Eletrônica nos ensina que a atenuação das frequências da parte superior do espectro provoca o arredondamento dos cantos superior esquerdo e inferior direito de uma onda quadrada, o que é verdade. Entretanto, nenhum livro, que eu saiba, informa o quanto fica arredondada a onda para cada grau de atenuação de frequências altas.

Além disso, nenhuma das obras que li explica que, tanto a insuficiência, como o excesso de resposta de frequências altas afetam diversamente os pulsos e as ondas quadradas. O conhecimento desta diferença é importante para os técnicos de televisão, pois a maior parte das formas de onda presentes nos circuitos de vídeo é constituída de pulsos de várias larguras (durações), e não de ondas quadradas.

Por isso, passaremos a examinar como se compõem as ondas senoidais, quadradas e os pulsos, e como são afetados por certas características dos circuitos.

A única maneira pela qual poderemos determinar como uma faixa de resposta estreita deforma os pulsos e as ondas quadradas é pelo exame destas, após a sua passagem por filtros de respostas de frequência conhecidas. Fizemos tais verificações no laboratório de Electronic Servicing. Daí, a seguir, os resultados dessas análises.

AS ONDAS QUADRADAS E A RESPOSTA DE FREQUÊNCIAS ALTAS

A seqüência de oscilogramas da Fig. 1 mostra a deterioração gradual de uma onda quadrada, cujos harmônicos superiores foram atenuados progressivamente, mediante a variação da capacitância de um filtro passa-baixas simples, ao qual é aplicada a onda quadrada.

A onda triangular da Fig. 1H representa a máxima distorção possível da onda quadrada, com um filtro RC de uma única célula. Se aumentarmos

a capacitância do filtro ainda mais, apenas conseguiremos reduzir a amplitude da onda triangular, sem lhe modificar o perfil. Contudo, podemos obter uma onda senoidal satisfatória a partir de uma onda quadrada, com o emprego de três filtros RC passa-baixas em cascata.

Foi escolhida para estas provas uma frequência de repetição de 1 kHz, porque é fácil medir com precisão a faixa de passagem dos filtros, acima e abaixo desta frequência fundamental. Os resultados podem ser convertidos para videofrequências multiplicando-se as frequências de prova por 15,734. Por exemplo, o 10.º harmônico de uma onda quadrada que ocupa uma linha horizontal completa na tela de um cinescópio tem a frequência de 157,34 kHz. O 100.º harmônico dessa onda quadrada de vídeo tem a frequência de 1,57 MHz. Vemos por aí que, para a imagem em preto-e-branco exibir uma nitidez satisfatória, é necessária uma resposta plana até o 100.º harmônico, e uma queda de resposta máxima, inferior a -3 dB, no 200.º harmônico.

A resposta de frequências altas excessiva também afeta os ângulos superior esquerdo e inferior direito de uma onda quadrada, como vemos nas Figs. 2B e 2C. Produz-se, nos flancos anterior e posterior da onda quadrada, um pico cuja altura é determinada pelo montante do excesso de resposta de frequências altas, sendo a largura fixada pela frequência à qual principia o excesso.

ONDAS QUADRADAS × RESPOSTA DE FREQUÊNCIAS BAIXAS

Na Fig. 3, vemos o efeito da redução da resposta de frequências baixas numa onda quadrada. Quando a redução se dá **abaixo** da frequência fundamental, como vemos nas Figs. 3A, 3B e 3C, a parte superior e a parte inferior são retas, embora inclinadas. Quando a atenuação de frequências

(*) Electronic Servicing, vol. 21, nº 5.

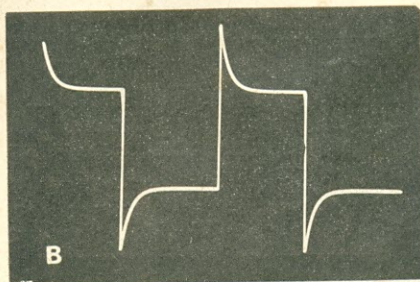
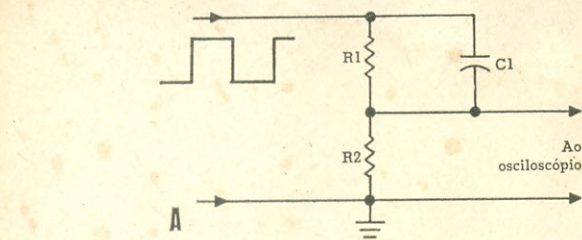
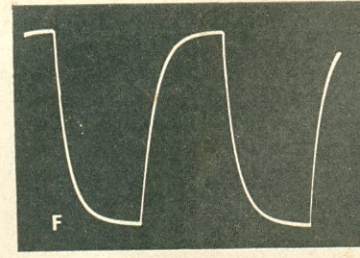
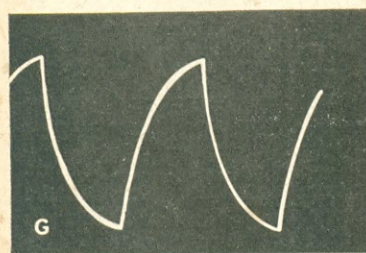
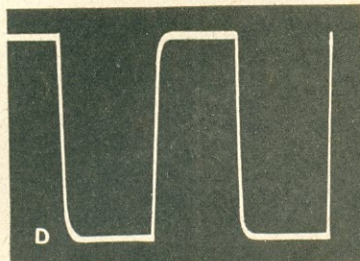
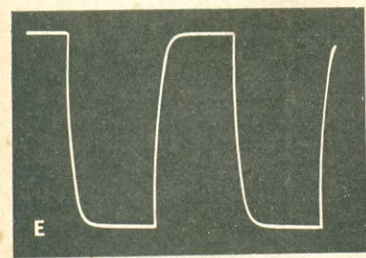
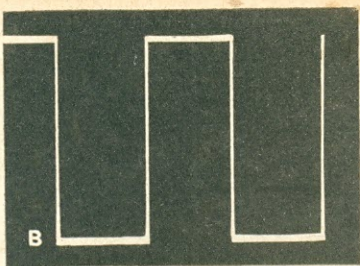
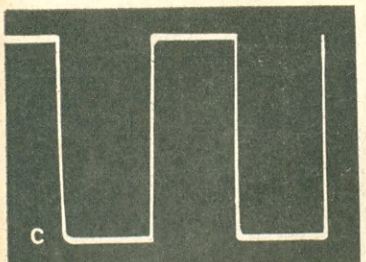
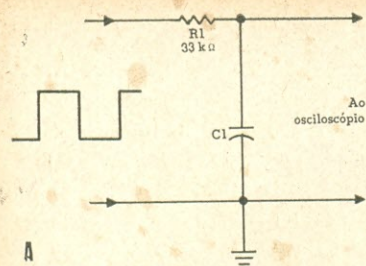


FIG. 2 — O reforço dos harmônicos mais elevados de uma onda quadrada também afeta os cantos superior esquerdo e inferior direito. (A) Diagrama esquemático do circuito empregado para reforçar os harmônicos superiores. A relação $R1/R2$ determina a queda de tensão à frequência fundamental e, por conseguinte, o máximo reforço de frequências altas. (B) $C1$ era de $0,001 \mu F$, $R1$ de $100 k\Omega$, e $R2$ de $100 k\Omega$. A resposta era de $+4$ dB no 10° harmônico, e de $+6$ dB no 20° harmônico e superiores. (C) $C1 = 0,001 \mu F$; $R1 = 100 k\Omega$ e $R2 = 10 k\Omega$. A resposta era de $+11$ dB no 10° harmônico, e de 20 dB no 100° harmônico e superiores.

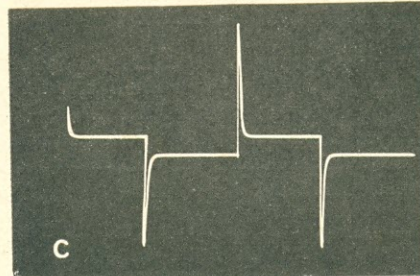


FIG. 1 — Estas formas de onda mostram como uma deficiência na resposta de frequências altas afeta as ondas quadradas. As orlas anterior e posterior de algumas das ondas foram desenhadas, pois o feixe eletrônico do osciloscópio era tão rápido que estas linhas verticais não apareciam nas fotos sem retoque. (A) Diagrama esquemático do filtro RC passa-baixas empregado na introdução de atenuação de frequências altas da forma de onda ilustrada. O valor de $C1$ foi mudado para cada forma de onda. (B) Onda quadrada de 1 kHz: $C1 = 0$. Veja os cantos agudos. (C) O valor de $C1$ era de 100 pF, tendo causado um leve arredondamento dos cantos superior esquerdo e inferior direito da forma de onda. A resposta era de -1 dB no 20° harmônico (o equivalente em vídeo é 315 kHz), e -12 dB no 200° harmônico (o equivalente em vídeo é $3,15$ kHz). (D) $C1$ era de 500 pF. O arredondamento dos dois cantos é bem perceptível. A resposta era de -6 dB no 20° harmônico (315 kHz), e -25 dB, no 200° harmônico ($3,15$ MHz). (E) $C1$ era de $0,001 \mu F$. As orlas da forma de onda não são mais retas. A resposta era de -11 dB no 20° harmônico (315 kHz) e -30 dB no 200° harmônico ($3,15$ kHz). (F) $C1$ era de $0,0025 \mu F$. A forma de onda começa a parecer uma dente-de-serra. A resposta era de -1 dB à frequência fundamental (frequência de repetição), -19 dB, no 20° harmônico (315 kHz), e -38 dB no 200° harmônico ($3,15$ MHz). (G) $C1$ era de $0,005 \mu F$. A forma de onda não mais parecia ter sido originada de uma onda quadrada. A resposta era de -3 dB à frequência de repetição, -25 dB no 20° harmônico (315 kHz), e -46 dB no 200° harmônico ($3,15$ kHz). (H) $C1$ era de $0,1 \mu F$. A forma de onda é um triângulo quase perfeito. A resposta era de -26 dB à frequência fundamental (frequência de repetição), continuando a cair, com o crescimento da frequência à razão de 6 dB/oitava.

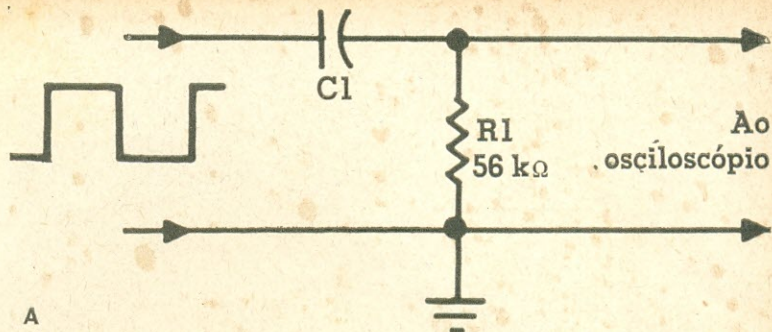
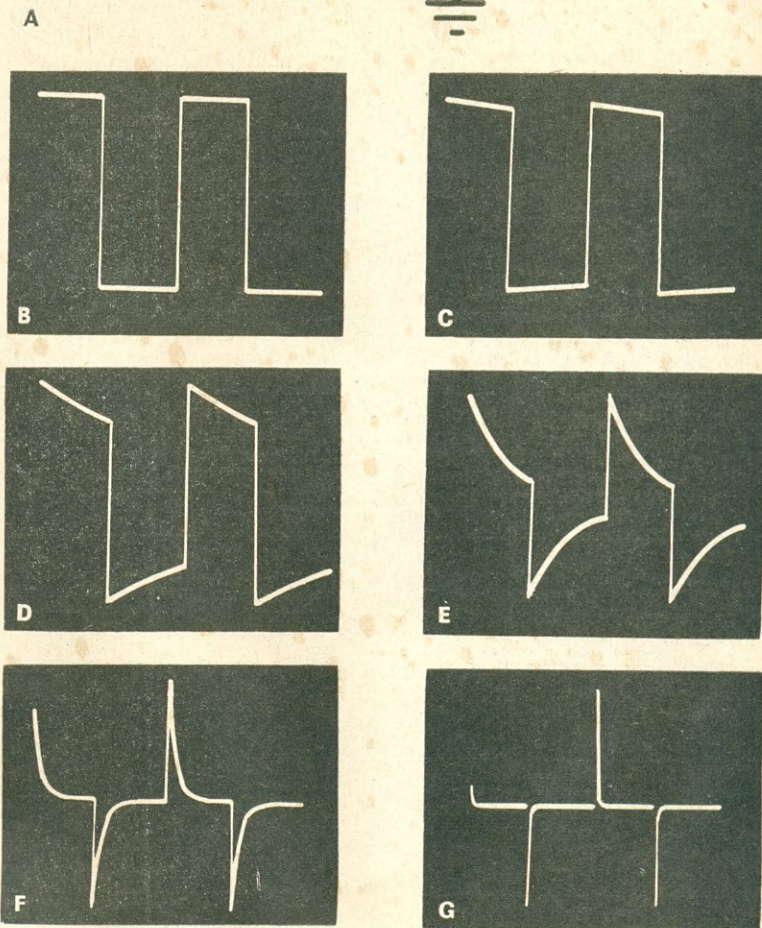


FIG. 3 — As formas de onda aqui representadas demonstram como uma onda quadrada é afetada pela queda da resposta de frequências baixas. (A) Diagrama esquemático do filtro RC passa-altas utilizado para introduzir atenuação das frequências baixas nestas formas de onda. (B) Onda quadrada normal de 1 kHz; C1 em curto. (C) C1 = 0,1 μ F. O topo da onda é inclinado; o canto direito é mais baixo que o esquerdo. A resposta a 1/10 da fundamental era de -1 dB, e a 1/50, de -5 dB. (D) C1 = 0,02 μ F; a inclinação é muito pronunciada, embora as partes superior e inferior ainda estejam retas. A resposta era de -5 dB a 1/10 da fundamental, e de -14 dB a 1/50. (E) C1 = 0,005 μ F. As partes superior e inferior estão começando a se encurvar. A resposta era de -1,5 dB à fundamental, -16 dB a 1/10 da fundamental, e -25 dB a 1/50 da fundamental. (F) C1 = 0,001 μ F. Pouco mais que uns picos é quanto resta da onda quadrada. A resposta era de -10 dB à fundamental, -30 dB a 1/10 da fundamental, e -40 dB a 1/50. (G) C1 = 100 pF. Só uns picos é o que resta da onda quadrada original. A resposta era de -30 dB à fundamental, -50 dB a 1/10 da fundamental, e -61 dB a 1/50.



baixas principia **acima** da frequência fundamental, essas partes são encurvadas, como nas Figs. 3D, 3E e 3F.

Observemos que a extrema atenuação de frequências baixas (30 dB de perda na fundamental) da Fig. 3F produz um pulso em cada lado da onda quadrada original. Um pulso é positivo, causado pela orla anterior, e o outro é negativo, causado pela orla posterior. Este é o motivo da produção de **dois** sinais de sobreoscilação por ciclo, quando empregamos uma onda quadrada para excitar um indutor ou um circuito sintonizado.

O excesso de resposta abaixo da frequência fundamental (reforço de frequências baixas) inclina a parte superior da onda quadrada, fazendo o ângulo direito mais alto que o esquerdo, sendo sua parte inferior inclinada inversamente em relação à parte superior (Fig. 4B).

Na Fig. 4C vemos um reforço de frequências baixas e frequências altas, simultaneamente. Esse reforço é, em ambos os casos, de 10 : 1, ou 20 dB, mas o pico produzido pelo excesso de resposta de frequências altas é muito mais perceptível do que a inclinação produzida pelo excesso de resposta de frequências baixas.

O excesso de resposta de frequências baixas, começando **acima** da frequência fundamental, determina tanto uma curvatura como a inclinação da parte superior e da parte inferior de uma onda quadrada, como vemos na Fig. 4D, a qual mostra igualmente um pulso curto, causado por um certo grau de acentuação de frequências altas.

PULSOS \times RESPOSTA DE FREQUÊNCIAS ALTAS

A restrição, ou redução, da resposta das frequências altas afeta os pulsos de maneira diferen-

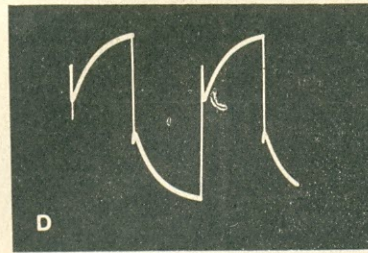
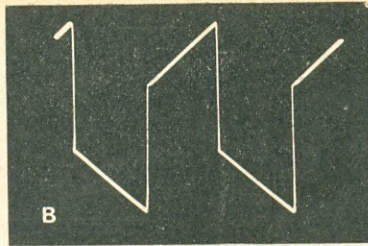
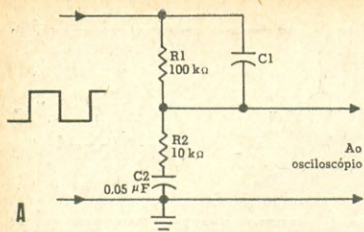


FIG. 4 — As formas de onda aqui reunidas mostram como o reforço simultâneo das frequências altas e baixas afeta as ondas quadradas. (A) Diagrama esquemático do circuito RC empregado para reforçar as frequências altas e baixas. C1 prevê o reforço de frequências altas, e C2 altera as constantes do divisor de tensão R1-R2, para aumentar o ganho às frequências baixas. (B) C1 = 0 — não havia reforço de frequências altas. A resposta era de +8 dB a 1/10 da fundamental, e +18 dB a 1/50. O reforço máximo com estes valores de componentes era de 20 dB. (C) C1 = 0,001 μF. A forma de onda apresenta uma inclinação (frequências baixas) e um pico (frequências altas), como explicado anteriormente. A resposta era de +11 dB no 10º harmônico, e +8 dB a 1/10 da fundamental. (D) C2 = 0,01 μF. O reforço de frequências baixas começava acima da frequência fundamental; portanto, o topo da onda tem uma curvatura convexa.

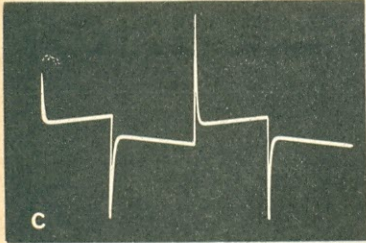
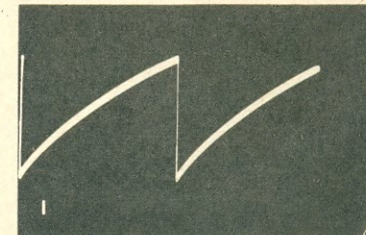
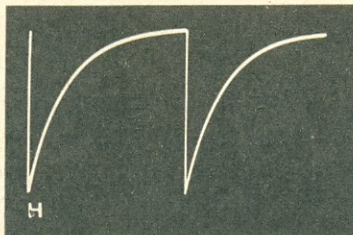
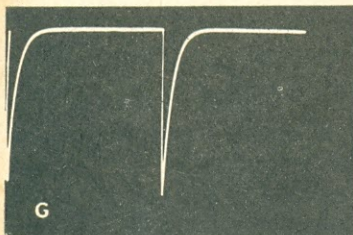
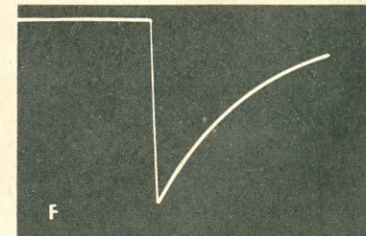
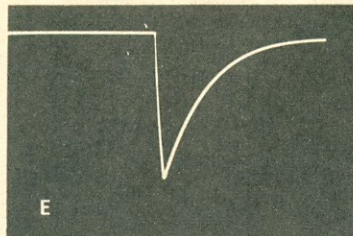
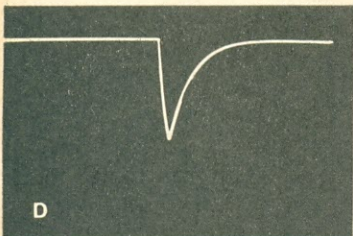
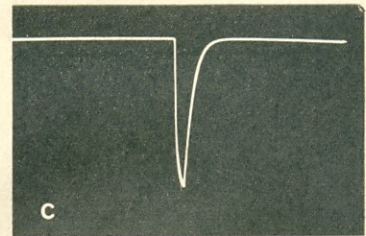
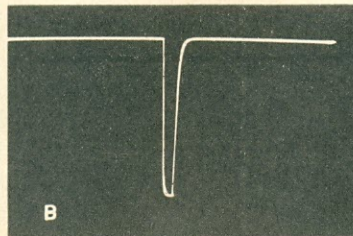
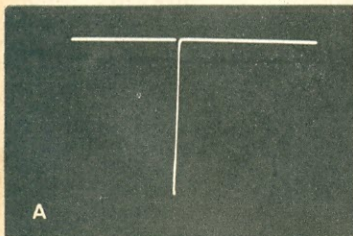


FIG. 5 — Os pulsos são afetados pelas limitações da resposta de frequências, não porém da mesma forma que as ondas quadradas. O filtro cujo diagrama aparece na Fig. 1A foi também usado para produzir as formas de onda aqui ilustradas. (A) Um pulso de 1 kHz normal é tão estreito que se torna quase impossível analisá-lo. (B) O mesmo pulso normal de 1 kHz, alargado cinco vezes pelo emprego de uma lente no osciloscópio. (C) C1 = 100 pF. A crista é quase sempre pontuda, sendo o flanco direito alargado e arredondado perto da linha de base. Compare este pulso com a onda quadrada da Fig. 1C, produzida pelo mesmo filtro, com os mesmos valores dos componentes. A resposta equivalente de vídeo era de -1 dB a 315 kHz, e -12 dB a 3,15 MHz. Se este pulso aparecesse como uma linha vertical no centro de uma tela de televisão, a linha se apresentaria sensivelmente borrada. (D) C1 = 500 pF. O pulso tem quase 4 vezes a largura da linha de base do pulso original. A amplitude do pulso é de 70% da amplitude original. (E) C1 = 0,001 μF. A resposta era de -11 dB a 315 kHz e de -30 dB a 3,15 MHz. A amplitude da forma de onda é de cerca de 43% da original. (F) C1 = 0,0025 μF. A resposta era de -1 dB à frequência fundamental (frequência de repetição), -19 dB a 315 kHz, e -38 dB a 3,15 MHz. A amplitude é de uns 20% da original. (G) C1 = 0,001 μF. Trata-se de uma repetição de (E), sendo usada, porém, a largura normal (X1) do osciloscópio. (H) C1 = 0,005 μF. A resposta era de -3 dB à frequência fundamental, -25 dB a 315 MHz, e -46 dB a 3,15 MHz. A amplitude equivale a 11% da original. (I) C1 = 0,02 μF. A resposta era de -13 dB à frequência fundamental, continuando a cair com o crescimento da frequência à razão de 6 dB/oitava. A amplitude é de 2,4% da amplitude original do pulso, e a forma de onda é uma dente-de-serra quase perfeita. O zumbido da fonte de alimentação do gerador de pulsos tornou desaconselhável uma ulterior filtragem.



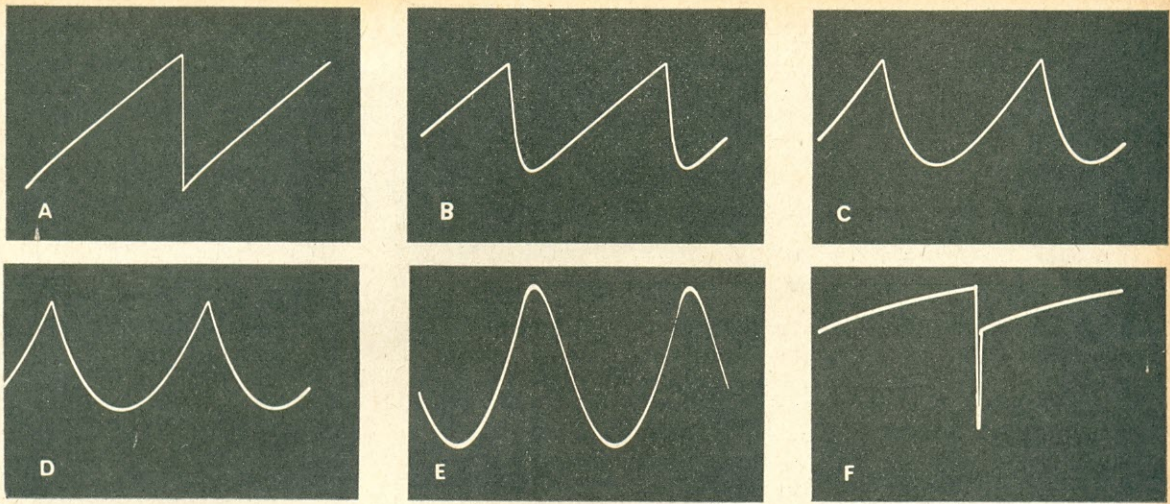


FIG. 6 — Estas formas de ondas mostram alterações no perfil de uma dente-de-serra, depois de submetida a uma atenuação de freqüências altas. O filtro passa-baixas da Fig. 1A foi usado também na produção dessas formas de onda, sendo R1, porém, de 100 k Ω . (A) Dente-de-serra normal de 1 kHz. Estes oscilogramas foram obtidos com a largura normal do osciloscópio (x1). (B) C1 era de 500 pF. Observe o arredondamento da parte inferior da onda, e o pico aguçado da parte superior. A resposta era de -15 dB ao 20^o harmônico. A amplitude equivale a 82% da amplitude da dente-de-serra original. (C) C1 = 0,0025 μ F. A onda se aproxima de uma parábola. A resposta era de -4 dB à freqüência fundamental (freqüência de repetição), e -30 dB, ao 20^o harmônico. A amplitude é de 44% da original. (D) C1 = 0,01 μ F. A onda é uma boa parábola. A resposta era de -15 dB à fundamental, e -40 dB no 20^o harmônico. A amplitude é de 14% da original. (E) Dois filtros RC passa-baixas em cascata (18 k Ω , 0,02 μ F e 1,8 M Ω , 120 pF) transformam a dente-de-serra numa onda quase senoidal. (F) Um resistor intercalado em série com um capacitor de valor suficiente para fazer uma dente-de-serra a partir de um pulso, produziu esta dente-de-serra com um pulso negativo.

te do que no caso das ondas quadradas. Isso acontece porque as ondas quadradas são **simétricas** (com o eixo de zero no centro, como as ondas senoidais). Os pulsos são assimétricos: seu eixo de zero fica perto de sua linha de base. Conseqüentemente, a ação é semelhante à de um pulso de C.C. Quando um pulso atravessa um filtro passa-baixas, como o da Fig. 1A, o flanco esquerdo não se altera muito, mas o flanco direito exibe a curva típica da descarga de um capacitor. Se a capacitância do filtro for suficientemente grande, produzir-se-á uma onda dente-de-serra. A série de oscilogramas da Fig. 5 esclarece o assunto.

Este mesmo efeito dos filtros passa-baixas aplica-se também aos sinais de vídeo dos televisores. A redução da resposta de freqüências altas, independentemente do que acontece nos estágios de F.I. ou amplificadores de vídeo, tem por efeito determinar uma perda de nitidez do lado direito de todo e qualquer elemento da imagem, muito maior do que no lado esquerdo. O mesmo princípio se aplica à observação de sinais de vídeo em um osciloscópio. Contudo, neste caso, examinamos geralmente o pulso de sincronismo horizontal, por ser ele relativamente constante, o que não sucede com os sinais de vídeo.

A filtragem suplementar para reduzir ainda mais os harmônicos de ordem mais elevada da onda dente-de-serra pode gerar uma forma de onda parabólica, como vemos na Fig. 6.

A parábola é o limite extremo da modificação possível de uma onda dente-de-serra, provocada por um filtro RC passa-baixas de uma única seção. Contudo, dois destes filtros em cascata geram uma onda senoidal reconhecível, muito embora haja alguma distorção de 2.^o harmônico presente, como

vemos na Fig. 6E. Um filtro de três células pode produzir uma onda senoidal quase perfeita.

Um resistor em série com um capacitor bastante grande para produzir uma dente-de-serra a partir de um pulso, acrescentará um pulso à dente-de-serra, como na Fig. 6F. O esquema é o mesmo da Fig. 4A, mas os valores dos componentes são diferentes.

COMPOSIÇÃO DAS FORMAS DE ONDA

Mostramos que uma onda quadrada pode ser convertida facilmente num sinal triangular por um filtro RC, e depois, numa senóide, com o acréscimo de mais células de filtro RC. Um pulso, entretanto, é transformado, primeiro, numa dente-de-serra, e depois, numa parábola, por uma filtragem suplementar proporcionada por um segundo filtro RC passa-baixas. Um filtro RC de três células converte a parábola numa onda senoidal. Uma senóide compõe-se apenas de uma freqüência.

A onda quadrada é formada por uma freqüência fundamental, 33% de 3.^o harmônico, 20% de 5.^o harmônico, e todos os harmônicos ímpares em amplitudes decrescentes.

Um pulso compõe-se de uma fundamental e harmônicos pares e ímpares em amplitude ligeiramente decrescentes.

É teoricamente possível produzir pulsos ou ondas quadradas mediante a combinação de senóides de freqüências e fases apropriadas. Como, para isso, é preciso fornecer harmônicos até além do 200.^o, o método não é muito prático. Todavia, devo dizer que reuni uma fundamental, um 3.^o e um 5.^o harmônicos, conseguindo uma forma de onda que dava todas as demonstrações de que se transfor-

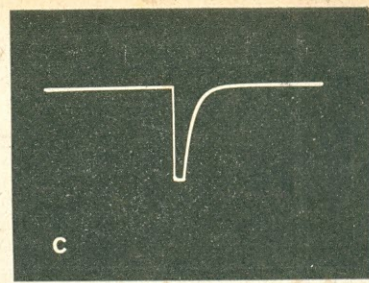
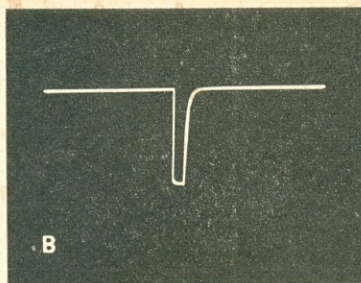
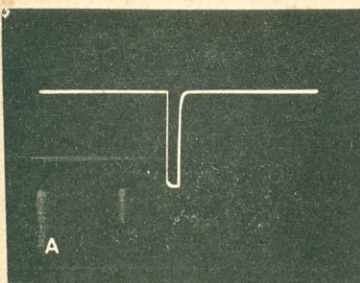


FIG. 7 — A forma de onda no coletor de um transistor de um gerador de pulsos pouco se modifica na crista e no flanco esquerdo, quando se acrescenta um capacitor entre coletor e massa. (A) Pulso de 1 kHz normal; largura do osciloscópio x5. (B) O capacitor era de 100 pF. (C) Capacitor de 500 pF. (D) Capacitor de 0,001 μ F. (E) Capacitor de 0,0025 μ F. A forma da onda se aproxima de uma dente-de-serra, mas o pico e o flanco esquerdo se alteraram muito pouco.

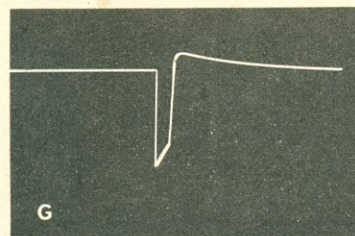
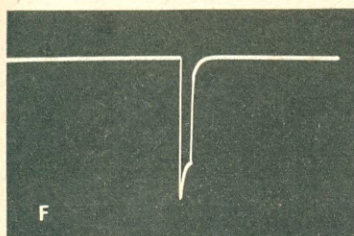
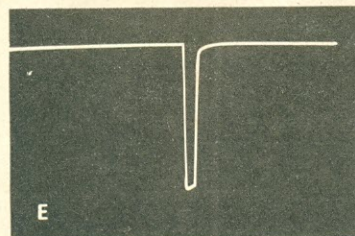
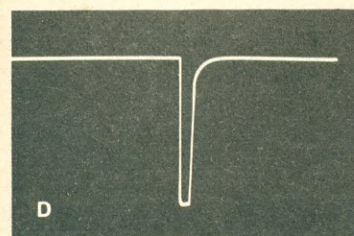
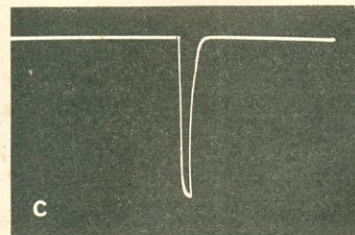
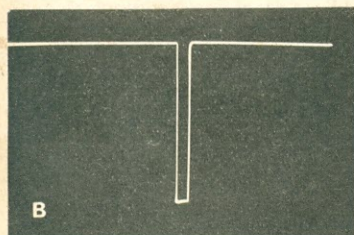
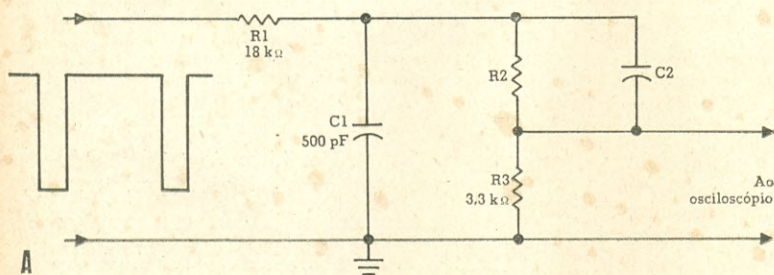
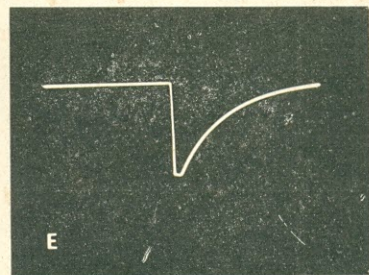
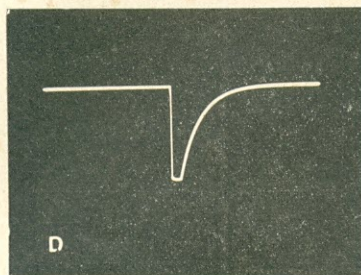


FIG. 8 — Os filtros de atenuação de frequências altas podem restabelecer parcialmente a agudeza de um pulso arredondado. (A) Diagrama esquemático do filtro passa-baixas combinado com um filtro de atenuação de frequências altas. Os valores de C2 e R2 foram variados para obtenção do melhor pulso. (B) Pulso de 1 kHz normal não aplicado a um filtro. A forma de onda acha-se alargada pela lente de X5 do osciloscópio. (C) C1 era de 500 pF, e C2 estava aberto. A resposta de frequência era de -1 dB no 20º harmônico, e -12 dB no 200º harmônico. (D) Nítida melhoria da forma de onda. C2 era de 0,001 μ F e R2, de 10 k Ω . A resposta era de -2 dB no 20º harmônico, e de -5 dB no 200º harmônico. (E) C2 era de 0,0025 μ F, e R2, de 5,6 k Ω . A resposta era de $-0,6$ dB no 20º harmônico, e -5 dB no 200º harmônico. (Um capacitor de 0,002 μ F aplainaria a inclinação da cristal.) (F) C2 era de 200 pF, e R2, de 100 k Ω . Estes valores produziam uma compensação excessiva. A resposta era de $+3$ dB no 20º harmônico, e $+3$ dB no 200º harmônico. (G) Esta forma de onda poderia ser confundida com a de (F), mas na verdade é o resultado da aplicação de uma atenuação de frequências baixas iniciando-se acima da frequência fundamental. Um indicio é a sobreoscilação no lado direito da linha de base.

maria numa onda quadrada, se o processo continuasse.

DIFERENÇAS DAS FONTES DE PULSOS

Quando derivamos para a massa com um capacitor a placa de uma válvula, ou o coletor de um transistor, que são a **fonte** de um pulso, obtemos uma forma de onda ligeiramente diferente do que quando efetuamos esta mesma derivação da placa ou do coletor de um estágio amplificador. A Fig. 7 mostra que a crista e o flanco esquerdo do pulso permanecem relativamente inalterados quando o coletor de um gerador de pulsos transistorizado é derivado nas condições acima — mesmo quando a capacitância para tanto empregada é tão grande que chega a produzir uma dente-de-serra arredondada.

O motivo para este estranho comportamento é que a extremidade do pulso representa um ponto de impedância muito baixa. A resistência coletor-emissor, no momento em que se transmite a extremidade do pulso, é quase zero, e a reatância capacitiva, tão elevada, que não tem importância. Quando o transistor é cortado, o capacitor se descarrega exatamente como a teoria prediz.

AGUÇAMENTO DOS PULSOS

A atenuação de freqüências altas não ocorre em circuitos práticos. Quando existe, em virtude de um filtro passa-baixas, podemos geralmente recorrer aos circuitos de reforço de freqüências elevadas para restabelecer a agudeza original do pulso. A atenuação de freqüências altas não superior a 6dB/oitava pode ser compensada com um circuito de reforço simples, como o da Fig. 2A, ou mediante a derivação de um resistor de catodo, ou de emissor, por um capacitor de valor apropriado (nos circuitos de vídeo).

Geralmente, a atenuação de freqüências altas do sinal de vídeo num televisor ocorre nos estágios de F.I. e amplificação de vídeo. Embora a atenuação total possa ultrapassar o montante suscetível de ser completamente corrigido ou compensado por circuitos práticos, na maioria dos televisores, tais circuitos produzem resultados que constituem uma conciliação razoável. (Estamos omitindo o obstáculo suplementar de um possível deslocamento de fase, que tira a nitidez da imagem sem, necessariamente, restringir muito a faixa de passagem.)

As formas de onda das Figs. 8C e 8D mostram como um filtro RC produz a correção parcial da atenuação. O excesso de correção tem por efeito inclinar a parte final do pulso, como vemos na Fig. 8E. A forma de onda da Fig. 8F parece um tanto semelhante, mas foi produzida por um filtro de atenuação de freqüências baixas, que entra em ação acima da freqüência fundamental (observe a inclinação da linha em seguida ao pulso).

A maioria dos circuitos de compensação de freqüências altas utiliza indutores denominados **bobinas de aguçamento**. A indutância destas bobinas de aguçamento combina-se com as capacitâncias espúrias existentes, formando circuitos sintonizados. Este método é empregado porque obtém-se algum ganho à freqüência ressonante do circuito sintonizado. Por outro lado, não são necessários divisores de tensão, com suas perdas intrínsecas às freqüências baixas.

O circuito da Fig. 9A foi usado para experimentar os efeitos da resposta de freqüência sobre os pulsos. R1 e C1 atenuam as freqüências altas, ao

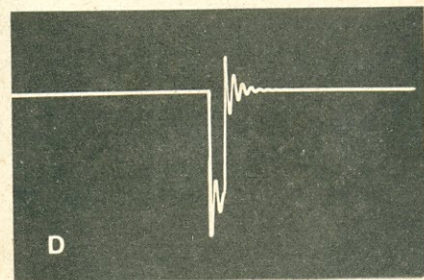
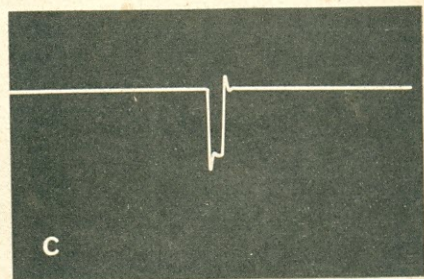
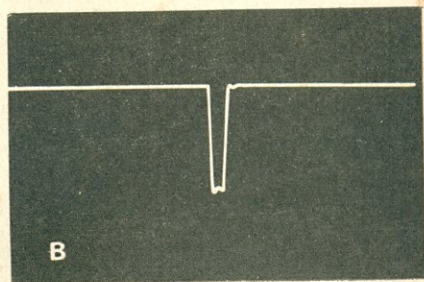
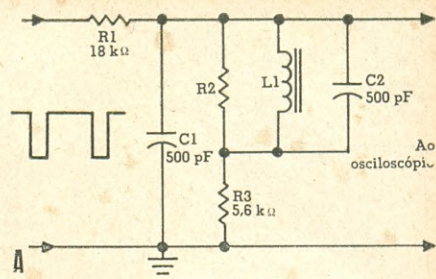


FIG. 9 — Pode-se usar também circuitos sintonizados de baixo Q para restabelecer a agudeza de um pulso arredondado. O indutor do circuito sintonizado chama-se bobina de aguçamento. Nos circuitos de vídeo práticos, o capacitor C2 é freqüentemente representado pela capacitância espúria do circuito. (A) Diagrama esquemático dos filtros passa-baixas e de reforço de freqüências altas. (B) Aguçamento relativamente bom. C2 era de 500 pF e R2 era de 5,6 kΩ. A resposta era de 0 dB no 20º harmônico, +0,7 dB no 50º harmônico, declinando acima deste ponto. (C) Excesso de aguçamento. Mesmas condições de (B), mas R2 com 10 kΩ. A resposta era de 0 dB no 20º harmônico, e +1,5 dB no 50º harmônico, caindo acima deste ponto. (D) Sobreoscilação excessiva. Mesmas condições de (C), mas com omissão de C1. A resposta era de +4 dB no 50º harmônico.

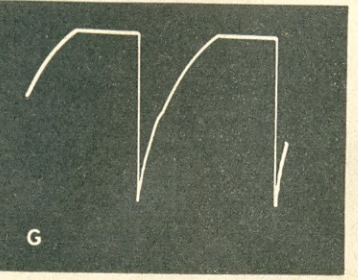
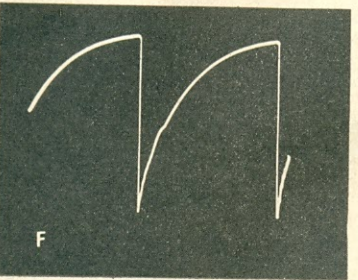
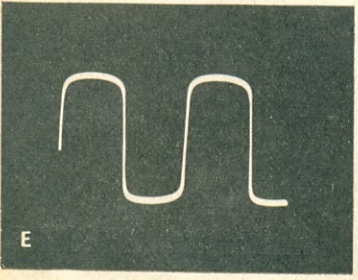
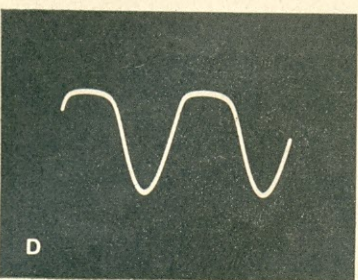
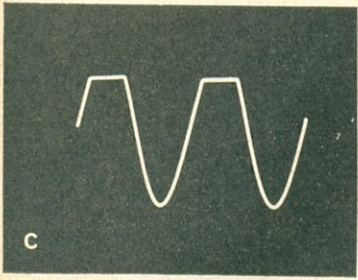
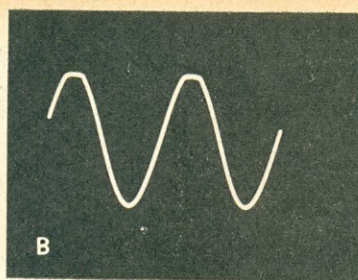
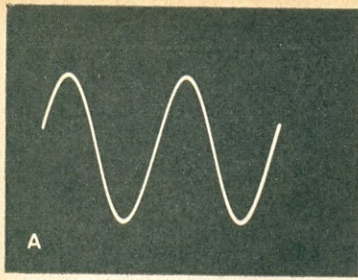


FIG. 10 — As ondas senoidais perfeitas compreendem uma só frequência; conseqüentemente, sua conformação não se altera com a passagem por filtros discriminadores de frequências. As senóides demonstram facilmente não-linearidades e o ceifamento. (A) Uma boa senóide, com menos de 1% de distorção harmônica total. (B) Ligeiro ceifamento. Um voltímetro eletrônico comutado para medir em C.A. pode causar este ceifamento quando aplicado a um estágio amplificador de áudio. (C) Ceifamento profundo. Geralmente devido a insuficiência de polarização, ou por ter sido o transistor, ou a válvula, levado a operar além do ponto de saturação por um sinal de entrada de amplitude excessiva. (D) Ceifamento muito profundo, porém com arredondamento de cantos. Geralmente causado por sobrecarga de um estágio no interior de um elo de realimentação negativa. (E) Diodos de silício do tipo de potência utilizados em uma tentativa malograda de produção de uma onda quadrada por ceifamento de uma onda senoidal. (F) Forma de onda normal na grade de uma válvula de saída horizontal. (G) A mesma forma de onda de (F), porém ceifada por uma válvula de saída horizontal com perda de vácuo, ou por um capacitor de acoplamento com fuga, entre o oscilador e a grade da válvula de saída.

passo que R2, L1 e C2 determinam a frequência de ressonância e o "Q" do circuito, e R3 limita o grau de aguçamento alcançado. O pulso da Fig. 9B exibe uma correção "de conciliação" satisfatória do pulso degradado da Fig. 8C. Um sinal de sobreoscilação aparece na crista do pulso, e outro após o flanco direito do pulso. Se o pulso fosse usado para pro-

duzir uma linha preta vertical na tela de um televisor, um contorno branco, ligeiramente perceptível, apareceria no lado direito da linha preta, e mesmo uma linha preta mais fraca no lado direito da linha branca. O pulso da Fig. 9C apresenta um excesso de correção objetável. Este produziria uma linha preta à esquerda, e uma linha branca à direita da linha preta vertical desejada na tela de um televisor. Sobreoscilações descontroladas, como na Fig. 9D, teriam o efeito de quatro ou cinco fantasmas pouco espaçados. Uma possível causa deste sintoma na tela de um televisor é a interrupção de um resistor em paralelo com uma das bobinas de aguçamento do circuito amplificador de vídeo.

DIAGNOSE PRELIMINAR DE DENTES-DE-SERRA E SENÓIDES CEIFADAS

Como já foi dito, uma onda senoidal perfeita possui apenas uma frequência, a fundamental. A passagem de uma senóide por circuitos atenuadores de frequências somente se traduz por variações de amplitude. Sobrecargas, ceifamentos e todos os tipos de distorção não-lineares transparecem mais, geralmente, num sinal senoidal do que em qualquer outra forma de onda complexa.

A Fig. 10A mostra a forma de onda de uma boa senóide, com menos de 1% de distorção harmônica. O ligeiro ceifamento, ilustrado na Fig. 10B, aparece frequentemente quando a tensão de C.A. num estágio de áudio é medida com um voltímetro eletrônico do tipo de retificador.

O ceifamento ilustrado nas Figs. 10C e 10D decorrem tipicamente de uma polarização incorreta numa válvula ou num transistor de um estágio de áudio.

Os cantos arredondados, como os da Fig. 10D, podem ser causados por deficiência na resposta de frequência, ou mais provavelmente, pelo "abrandamento" do ceifamento pela realimentação negativa.

Pode-se formar ondas quadradas com o ceifamento extremo de ambas as cristas de uma