Capítulo 2

Valores medio y eficaz

FORMAS DE ONDA

Las representaciones de las funciones $v(t)$, $i(t)$, $p(t)$, etc., se llaman formas de onda de tensión, intensidad de corriente, potencia eléctrica, etc., respectivamente. En el análisis de circuitos preliminar solo estudiaremos las funciones periódicas, es decir, aquellas en las que $f(t) = f(t + nT)$, siendo n un número entero y T el periodo que se muestra en la Fig. 2-1. Para ver la forma de onda de una función periódica debe representarse, al menos, un periodo.

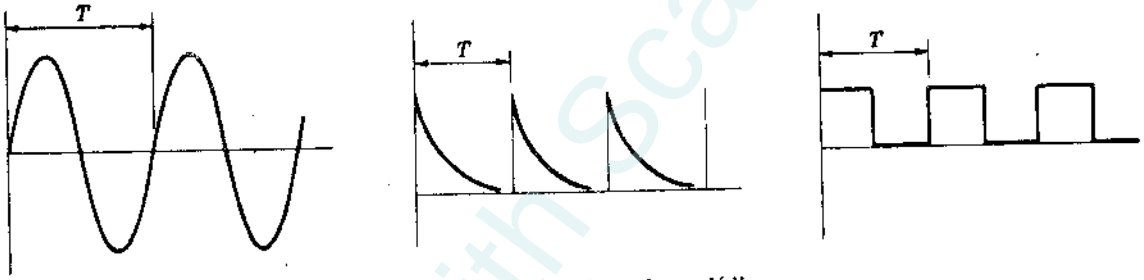

Fig. 2-1. Formas de onda periódicas

Las funciones de tensión e intensidad, $v(t)$ e $i(t)$, son expresiones matemáticas que se pueden dar de varias maneras, según los casos. Por ejemplo, las funciones seno y coseno se pueden expresar mediante series potenciales infinitas. Sin embargo, sería muy penoso aplicar estas formas matemáticas a las ecuaciones básicas relativas a la tensión e intensidad en los tres elementos fundamentales de los circuitos.

VALOR MEDIO

El valor medio Y_{med} de una función periódica $y(t)$ de periodo T es, por definición,

$$Y_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)\,dt$$

VALOR EFICAZ

Al circular una corriente de intensidad $i(t)$ por un elemento resistivo puro de resistencia R, éste disipa una potencia $p(t)$ con un valor medio P. Pues bien, esta misma potencia P la puede disipar una corriente constante de intensidad I circulando por dicha R. En estas condiciones, diremos que $i(t)$ tiene un valor eficaz I_{ef} equivalente a la corriente constante I. Lo mismo diríamos respecto de la tensión eficaz V_{ef}. Matemáticamente, dada la función $y(t)$ de periodo T, su valor eficaz —o raíz cuadrática media— es, por definición,

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \overline{y(t)}^2\,dt}$$

El valor eficaz de las funciones a sen ωt y a cos ωt durante un periodo es $a/\sqrt{2}$. (Véase Problema 2-2.)

VALOR EFICAZ DE UNA FUNCION DE SENOS Y COSENOS

El valor eficaz de la función $y(t) = a_0 + (a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \cdots) + (b_1 \operatorname{sen} \omega t + b_2 \operatorname{sen} 2\omega t + \cdots)$ viene dado por

$$Y_{ef} \quad = \quad \sqrt{a_0^2 + \tfrac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2 + \cdots) + \tfrac{1}{2}(b_1^2 + b_2^2 + \cdots)}$$

Llamando A al valor eficaz de la función $a_1 \cos \omega t$, según lo dicho en la sección anterior, $A_1 = \dfrac{a_1}{\sqrt{2}}$ o bien $A_1^2 = \dfrac{a_1^2}{2}$, por tanto

$$Y_{ef} \quad = \quad \sqrt{a_0^2 + (A_1^2 + A_2^2 + \cdots) + (B_1^2 + B_2^2 + \cdots)}$$

FACTOR DE FORMA

El factor de forma de una onda es la relación entre los valores eficaz y medio de la misma.

$$\text{Factor de forma} \quad = \quad \frac{Y_{ef}}{Y_{med}} \quad = \quad \frac{\sqrt{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T \overline{y(t)}^2\, dt}}{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T y(t)\, dt}$$

Las formas de onda tales que $f(t) = -f(t + \frac{1}{2}T)$, es decir, aquellas ondas cuyos semiperiodos son simétricos con respecto al eje de tiempos, tienen un valor medio igual a cero, como puede observarse en la Fig. 2-2. Para salvar la dificultad en este tipo de ondas, de las que la función seno es el ejemplo más característico, se suele tomar el valor medio Y_{med}, del semiperiodo positivo. Este valor se llama a veces valor medio de un semiciclo.

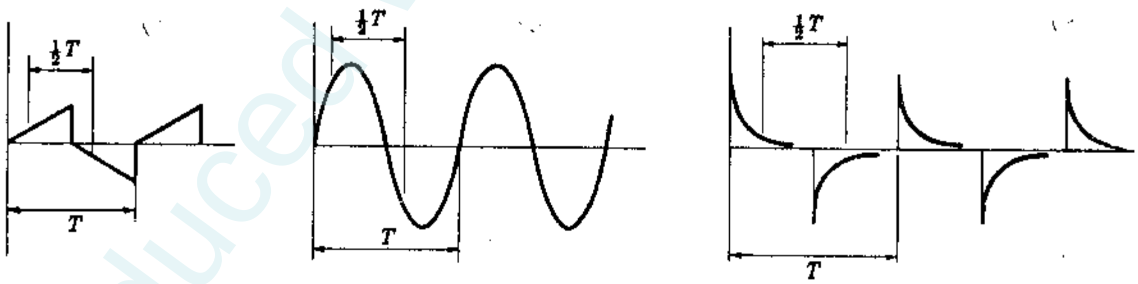

Fig. 2-2. Ondas de semiperiodo simétrico

Existen, sin embargo, otras formas de onda cuyo valor medio en un periodo es nulo y que no presentan aquella simetría, como las representadas en la Fig. 2-3. El cálculo del valor Y_{med} para obtener el factor de forma también se realiza en un semiperiodo, análogamente a como dijimos para las anteriores.

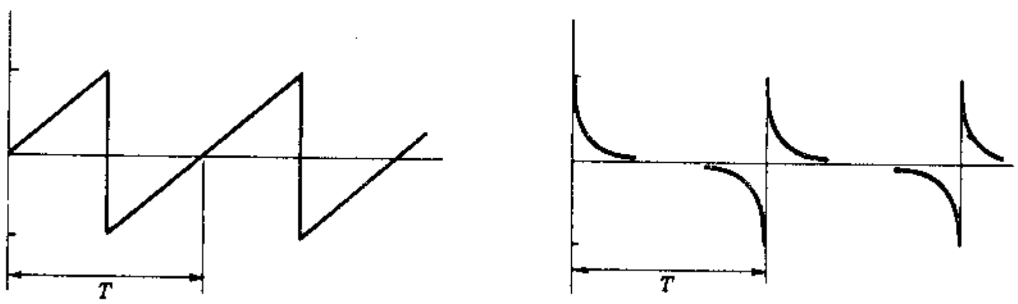

Fig. 2-3

Problemas resueltos

2-1 Por una resistencia circula (*a*) una corriente de intensidad constante I, (*b*) una corriente periódica $i(t)$ de periodo T. (Véase Fig. 2-4.) Demostrar que si $I_{ef} = I$, la potencia media P es la misma en ambos casos.

Corriente constante I: $P = VI = RI^2$

Corriente periódica $i(t)$: $p = vi = Ri^2$ y $P = \left(\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt\right)R = RI_{ef}^2$

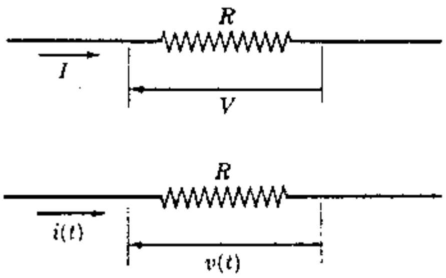

Fig. 2-4

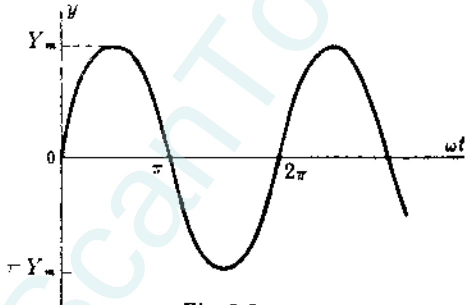

Fig. 2-5

2-2 Hallar los valores medio y eficaz de la función $y(t) = Y_m$ sen ωt.

El periodo de la función es 2π. La gráfica se representa con ωt como variable independiente (Figura 2-5).

$$Y_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)\,dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} Y_m \operatorname{sen}\omega t\; d(\omega t) = \frac{1}{2\pi}Y_m\Big[-\cos\omega t\Big]_0^{2\pi} = 0$$

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T y^2\,dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}(Y_m \operatorname{sen}\omega t)^2\,d(\omega t)} = \frac{Y_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\,Y_m$$

El valor eficaz de una función pura senoidal o cosenoidal es $1/\sqrt{2}$ o bien 0,707 veces el valor máximo.

2-3 Hallar la potencia media P disipada en una resistencia de 10 ohmios por la que circula una corriente $i(t) = 14{,}14 \cos\omega t$ amperios.

Como $p = vi = Ri^2 = 2000\cos^2\omega t$ y su periodo es π, la potencia media vale

$$P = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} 2000\cos^2\omega t\; d(\omega t) = 1000 \text{ W}$$

Otro método. La potencia media disipada por una resistencia pura por la que circula una corriente periódica es

$$P = RI_{ef}^2 = \left\{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}(14{,}14\cos\omega t)^2\,d(\omega t)\right\}10 = (14{,}14/\sqrt{2})^2(10) = 1000 \text{ W}$$

2-4 Hallar los valores medio y eficaz de la forma de onda en diente de sierra representada en la Figura 2-6.

Evidentemente, $Y_{med} = 25$. En el intervalo $0 < t < 2$, $y = 25t$; por tanto,

$$Y_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T y^2\,dt = \frac{1}{2}\int_0^2 625t^2\,dt = 834, \quad \text{de donde} \quad Y_{ef} = 28{,}9$$

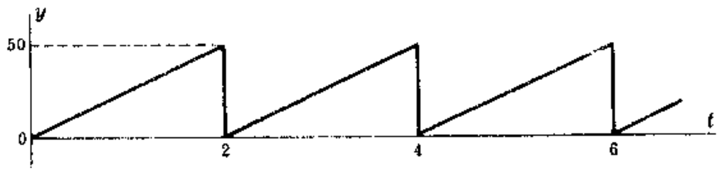

Fig. 2-6

2-5 Hallar los valores medio y eficaz de la forma de onda representada en la Fig. 2-7 en cuyo primer intervalo $y = 10e^{-200t}$.

$$Y_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T y\,dt = \frac{1}{0{,}05}\int_0^{0{,}05} 10\,e^{-200t}\,dt = \frac{10}{0{,}05(-200)}\Big[e^{-200t}\Big]_0^{0{,}05}$$
$$= -1[e^{-10} - e^0] = 1{,}00$$

$$Y_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T y^2\,dt = \frac{1}{0{,}05}\int_0^{0{,}05} 100\,e^{-400t}\,dt = 5{,}00, \quad \text{de donde} \quad Y_{ef} = 2{,}24$$

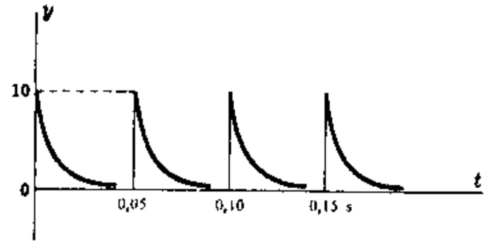

Fig. 2-7

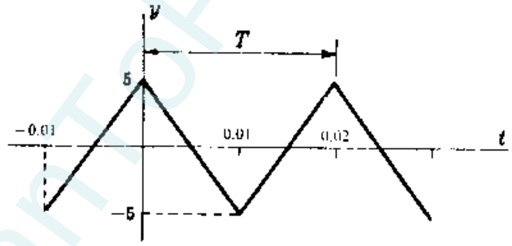

Fig. 2-8

2-6 Hallar el factor de forma de la onda triangular representada en la Figura 2-8.

$$-0{,}01 < t < 0: \quad y(t) = 1000t + 5; \quad \overline{y(t)}^2 = 10^6t^2 + 10^4t + 25$$
$$0 < t < 0{,}01: \quad y(t) = -1000t + 5; \quad \overline{y(t)}^2 = 10^6t^2 - 10^4t + 25$$

$$Y_{ef}^2 = \frac{1}{0{,}02}\left\{\int_{-0{,}01}^{0} (10^6t^2 + 10^4t + 25)\,dt + \int_0^{0{,}01} (10^6t^2 - 10^4t + 25)\,dt\right\} = 8{,}33, \qquad Y_{ef} = 2{,}89$$

Como la onda es simétrica, su valor medio se calcula sobre la parte positiva, es decir,

$$Y_{med} = \frac{1}{0{,}01}\left\{\int_{-0{,}005}^{0} (1000t + 5)\,dt + \int_0^{0{,}005} (-1000t + 5)\,dt\right\} = 2{,}5$$

$$\text{Factor de forma} = \frac{Y_{ef}}{Y_{med}} = \frac{2{,}89}{2{,}5} = 1{,}16$$

2-7 Hallar los valores medio y eficaz de la forma de onda senoidal representada en la Figura 2-9.

Para $0 < \omega t < \pi$, $y = Y_m \operatorname{sen} \omega t$; para $\pi < \omega t < 2\pi$, $y = 0$. El periodo es 2π.

$$Y_{med} = \frac{1}{2\pi}\left\{\int_0^{\pi} Y_m \operatorname{sen}\omega t\,d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 0\,d(\omega t)\right\} = 0{,}318\,Y_m$$

$$Y_{ef}^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} (Y_m \operatorname{sen}\omega t)^2\,d(\omega t) = \tfrac{1}{4}Y_m^2, \qquad Y_{ef} = \tfrac{1}{2}Y_m$$

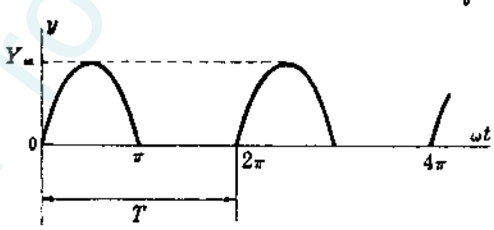

Fig. 2-9

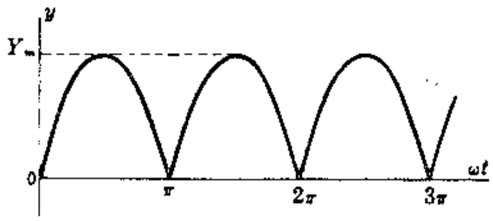

Fig. 2-10

2-8 Hallar los valores medio y eficaz de la onda completa senoidal rectificada de la Fig. 2-10. El periodo es π.

$$Y_{med} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} Y_m \operatorname{sen}\omega t\,d(\omega t) = 0{,}637\,Y_m$$

$$Y_{ef}^2 = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (Y_m \operatorname{sen}\omega t)^2\,d(\omega t) = \frac{Y_m^2}{2}, \qquad Y_{ef} = 0{,}707\,Y_m$$

2-9 Hallar los valores medio y eficaz de la onda cuadrada representada en la Figura 2-11.

Para $0 < t < 0{,}01$, $y = 10$; para $0{,}01 < t < 0{,}03$, $y = 0$. El periodo es 0,03 s.

$$Y_{\text{med}} = \frac{1}{0{,}03}\int_0^{0{,}01} 10\,dt = \frac{10(0{,}01)}{0{,}03} = 3{,}33$$

$$Y_{\text{ef}}^2 = \frac{1}{0{,}03}\int_0^{0{,}01} 10^2\,dt = 33{,}3, \qquad Y_{\text{ef}} = 5{,}77$$

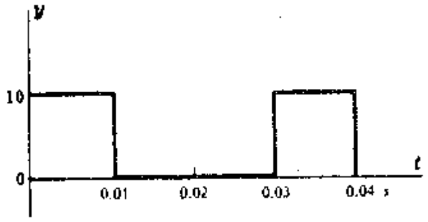

Fig. 2-11

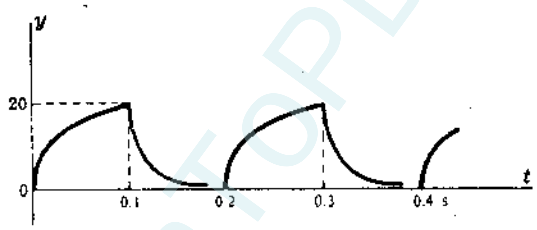

Fig. 2-12

2-10 Hallar el valor eficaz de la función representada en la Fig. 2-12 definida por:

$0 < t < 0{,}1 \quad y = 20(1 - e^{-100t})$; $\qquad 0{,}1 < t < 0{,}2 \quad y = 20e^{-50(t-0{,}1)}$

$$Y_{\text{ef}}^2 = \frac{1}{0{,}2}\left\{\int_0^{0{,}1} 400(1 - 2\,e^{-100t} + e^{-200t})\,dt + \int_{0{,}1}^{0{,}2} 400\,e^{-100(t-0{,}1)}\,dt\right\}$$

$$= 2000\left\{\left[t + 0{,}02\,e^{-100t} - 0{,}005\,e^{-200t}\right]_0^{0{,}1} + \left[-0{,}01\,e^{-100(t-0{,}1)}\right]_{0{,}1}^{0{,}2}\right\}$$

$= 190$, de donde $Y_{\text{ef}} = 13{,}78$. (El término en e^{-10} y en e^{-20} no son significativos.)

2-11 Hallar el valor eficaz de la función $y = 50 + 30 \operatorname{sen} \omega t$.

$$Y_{\text{ef}}^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (2500 + 3000 \operatorname{sen} \omega t + 900 \operatorname{sen}^2 \omega t)\,d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi}[2500(2\pi) + 0 + 900\pi] = 2950, \qquad Y_{\text{ef}} = 54{,}3$$

Otro método: $\quad Y_{\text{ef}} = \sqrt{(50)^2 + \frac{1}{2}(30^2)} = \sqrt{2950} = 54{,}3$

2-12 Hallar el valor eficaz de la función de tensión $v = 50 + 141{,}4 \operatorname{sen} \omega t + 35{,}5 \operatorname{sen} 3\omega t$.

$$V_{\text{ef}} = \sqrt{(50)^2 + \tfrac{1}{2}(141{,}4)^2 + \tfrac{1}{2}(35{,}5)^2} = 114{,}6 \text{ V}$$

2-13 Una onda completa senoidal rectificada está cortada a 0,707 de su valor máximo, como indica la Fig. 2-13. Hallar los valores medio y eficaz de dicha función.

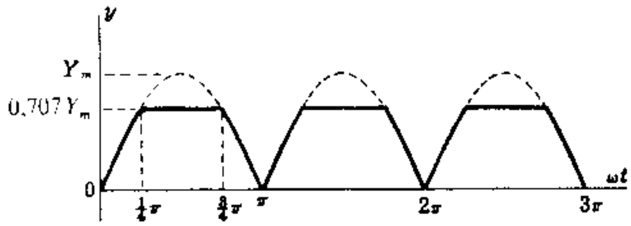

Fig. 2-13

La función tiene de periodo π y está definida por

$$\begin{aligned} 0 < \omega t < \pi/4 \quad & y = Y_m \operatorname{sen} \omega t \\ \pi/4 < \omega t < 3\pi/4 \quad & y = 0{,}707\,Y_m \\ 3\pi/4 < \omega t < \pi \quad & y = Y_m \operatorname{sen} \omega t \end{aligned}$$

$$Y_{\text{med}} = \frac{1}{\pi}\left\{\int_0^{\pi/4} Y_m \operatorname{sen} \omega t\,d(\omega t) + \int_{\pi/4}^{3\pi/4} 0{,}707\,Y_m\,d(\omega t) + \int_{3\pi/4}^{\pi} Y_m \operatorname{sen} \omega t\,d(\omega t)\right\} = 0{,}54\,Y_m$$

$$Y_{\text{ef}}^2 = \frac{1}{\pi}\left\{\int_0^{\pi/4} (Y_m \operatorname{sen} \omega t)^2\,d(\omega t) + \int_{\pi/4}^{3\pi/4} (0{,}707\,Y_m)^2\,d(\omega t) + \int_{3\pi/4}^{\pi} (Y_m \operatorname{sen} \omega t)^2\,d(\omega t)\right\}$$

$$= 0{,}341\,Y_m^2 \qquad Y_{\text{ef}} = 0{,}584\,Y_m$$

2-14 Hallar el ángulo de fase θ que debe tener la onda completa senoidal rectificada de la Figura 2-14 para que su valor medio sea la mitad de su valor máximo.

$$Y_{med} = \frac{1}{\pi}\int_{\theta}^{\pi} Y_m \operatorname{sen} \omega t \; d(\omega t)$$

$$= \frac{Y_m}{\pi}(-\cos\pi + \cos\theta)$$

Por tanto, $0{,}5\,Y_m = (Y_m/\pi)(1 + \cos\theta)$, $\cos\theta = 0{,}57$, $\theta = 55{,}25°$.

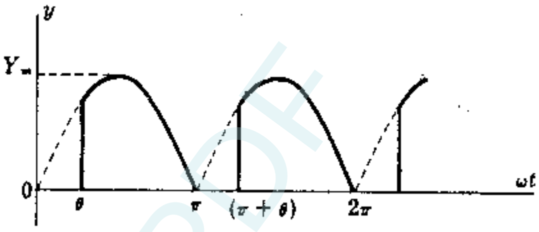

Fig. 2-14

2-15 La intensidad de corriente que circula por una resistencia de 2 ohmios tiene la forma de onda del Problema 2-14 con un valor máximo de 5 amperios. La potencia media disipada por la resistencia es de 20 vatios. Hallar el ángulo θ.

$P = RI_{ef}^2$, $20 = (2)I_{ef}^2$, I_{ef}^2, $I_{ef}^2 = 10$. Por tanto,

$$I_{ef}^2 = 10 = \frac{1}{\pi}\int_{\theta}^{\pi}(5 \operatorname{sen} \omega t)^2 \, d(\omega t) = \frac{25}{\pi}\left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\operatorname{sen} 2\omega t}{4}\right]_{\theta}^{\pi} = \frac{25}{\pi}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\operatorname{sen} 2\pi}{4} - \frac{\theta}{2} + \frac{\operatorname{sen} 2\theta}{4}\right)$$

de donde $\operatorname{sen} 2\theta = 2\theta - 10\pi/25$ y $\theta = 60{,}5°$ (solución gráfica).

Problemas propuestos

2-16 La potencia media disipada en una resistencia de 25 ohmios es de 400 vatios. Hallar el valor máximo de la intensidad de corriente si ésta es (*a*) senoidal, (*b*) triangular. *Sol.* (*a*) 5,66 A, (*b*) 6,93 A.

2-17 Hallar el valor eficaz V_{ef} de la tensión $v(t) = 100 + 25 \operatorname{sen} 3\omega t + 10 \operatorname{sen} 5\omega t$. *Sol.* 101,8 V.

2-18 Hallar la potencia media disipada en una resistencia de 25 ohmios cuando por ella circula una corriente $i(t) = 2 + 3 \operatorname{sen} \omega t + 2 \operatorname{sen} 2\omega t + 1 \operatorname{sen} 3\omega t^2$. *Sol.* 275 W.

2-19 Hallar el valor de Y_{ef} de la función $y(t) = 50 + 40 \operatorname{sen} \omega t$. *Sol.* 57,4.

2-20 Hallar el valor de Y_{ef} de la función $y(t) = 150 + 50 \operatorname{sen} \omega t + 25 \operatorname{sen} 2\omega t$. *Sol.* 155,3.

2-21 Sabiendo que el valor eficaz de la función $y(t) = 100 + A \operatorname{sen} \omega t$ es 103,1, hallar la amplitud A del término senoidal. *Sol.* 35,5.

2-22 Una cierta función consta de un término constante, un armónico fundamental y un tercer armónico. El valor máximo del fundamental es el 80 % y el valor máximo del tercer armónico es el 50 %, del término constante. Sabiendo que el valor eficaz de esta función es 180,3, hallar el término constante y los dos armónicos. *Sol.* 150, 120, 75.

2-23 Si el valor eficaz de media onda senoidal rectificada es 20, ¿cuál es su valor medio? *Sol.* 12,7.

2-24 Hallar Y_{med} e Y_{ef} de la forma de onda representada en la Fig. 2-15. *Sol.* $Y_{med} = 40$; $Y_{ef} = 72{,}1$.

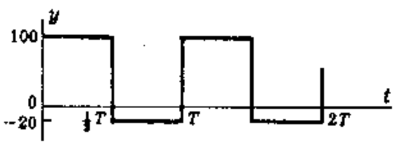

Fig. 2-15

2-25 Hallar Y_{med} e Y_{ef} de la forma de onda representada en la Figura 2-16. *Sol.* $Y_{med} = 10$; $Y_{ef} = 52{,}9$.

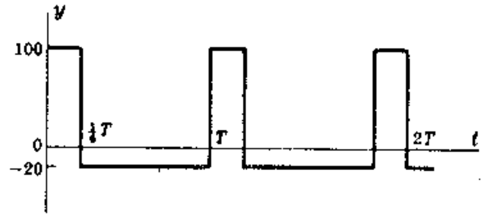

Fig. 2-16

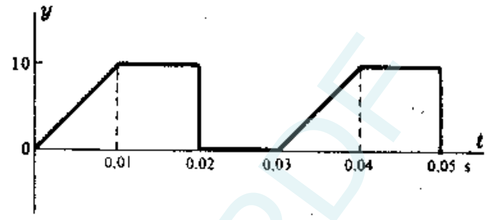

Fig. 2-17

2-26 Hallar Y_{ef} de la forma de onda representada en la Figura 2-17. *Sol.* $Y_{ef} = 6{,}67$.

2-27 Hallar Y_{ef} de la forma de onda representada en la Figura 2-18. *Sol.* $Y_{ef} = Y_m/\sqrt{3} = 0{,}577\,Y_m$.

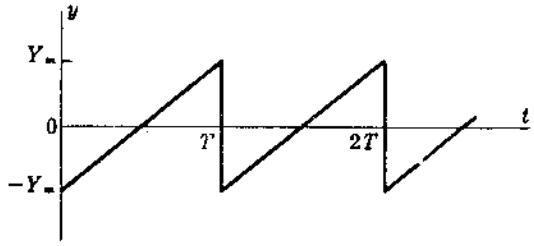

Fig. 2-18

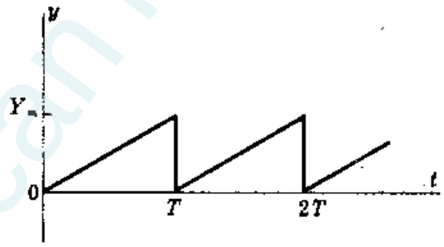

Fig. 2-19

2-28 Hallar el valor eficaz de la forma de onda representada en la Fig. 2-19 y compararlo con el del Problema 2-27.

2-29 Hallar el valor eficaz de la onda triangular representada en la Fig. 2-20 y compararlo con el del Problema 2-27.

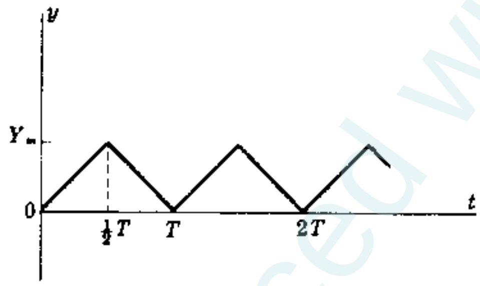

Fig. 2-20

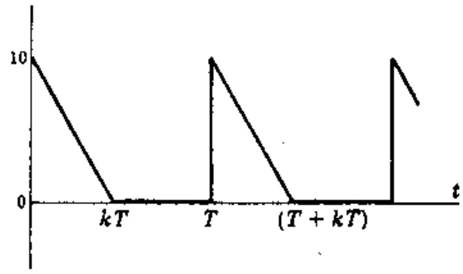

Fig. 2-21

2-30 Hallar el valor de k en la forma de onda representada en la Fig. 2-21 sabiendo que es una fracción del periodo T tal que el valor eficaz es (*a*) 2, (*b*) 5. ¿Cuál será el máximo valor eficaz de la forma de onda dada al variar k? *Sol.* (*a*) 0,12; (*b*) 0,75; 5,77 para $k = 1$.

2-31 Hallar los valores V_{med} y V_{ef} de la forma de onda de la Figura 2-22.
Sol. $V_{med} = 21{,}6$; $V_{ef} = 24{,}75$

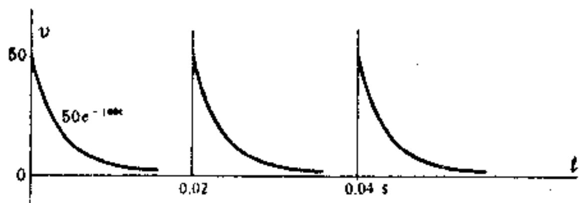

Fig. 2-22

2-32 En el Problema 2-31 determinar los valores V_{med} y V_{ef} si la función se define en el primer intervalo por (*a*) $50e^{-200t}$, (*b*) $50e^{-500t}$.
Sol. (*a*) $V_{med} = 12{,}25$, $V_{ef} = 17{,}67$;
(*b*) $V_{med} = 5{,}0$, $V_{ef} = 11{,}18$.

2-33 Hallar los valores Y_{med} e Y_{ef} correspondientes a la forma de onda de la Fig. 2-23 definida por

$$0 < t < 0{,}025 \quad y(t) = 400t$$
$$0{,}025 < t < 0{,}050 \quad y(t) = 10e^{-1000(t-0{,}025)}$$

Sol. $Y_{med} = 2{,}7$, $Y_{ef} = 4{,}2$

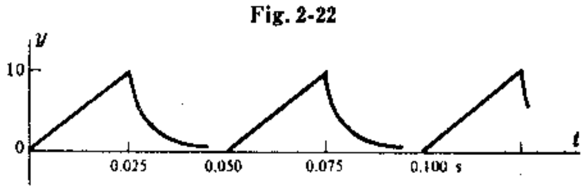

Fig. 2-23

2-34 La forma de onda de la Fig. 2-24 es análoga a la del Problema 2-33, pero con un tiempo de elevación más pequeño. Hallar los valores Y_{med} e Y_{ef}.

$0 < t < 0{,}01 \quad y(t) = 1000t$

$0{,}01 < t < 0{,}05 \quad y(t) = 10e^{-1000(t-0{,}01)}$

Sol. $Y_{med} = 1{,}2;\ Y_{ef} = 2{,}77.$

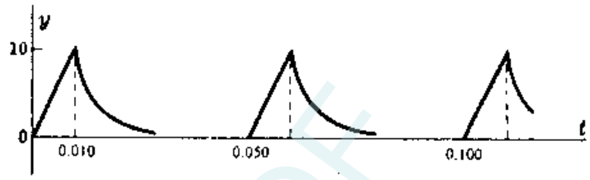

Fig. 2-24

2-35 Hallar los valores V_{med} y V_{ef} de la media onda senoidal de tensión rectificada de la Fig. 2-25, sabiendo que el ángulo de fase es de 45° en retraso. *Sol.* $V_{med} = 27{,}2$ V; $V_{ef} = 47{,}7$ V.

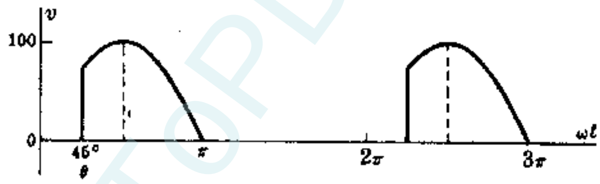

Fig. 2-25

2-36 Hallar los valores V_{med} y V_{ef} de la forma de onda del Problema 2-35 si el ángulo de fase es (*a*) $\theta = 90°$, (*b*) $\theta = 135°$.

Sol. (*a*) $V_{med} = 15{,}95;\ V_{ef} = 35{,}4.$

(*b*) $V_{med} = 4{,}66;\ V_{ef} = 15{,}06.$

2-37 La onda completa senoidal rectificada de la Fig. 2-26 tiene un ángulo de fase en retraso de 60°. Hallar los valores V_{med} y V_{ef} en función de V_m. *Sol.* $V_{med} = 0{,}478\ V_m;\ V_{ef} = 0{,}633\ V_m.$

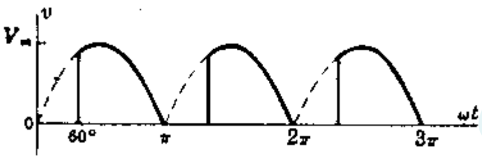

Fig. 2-26

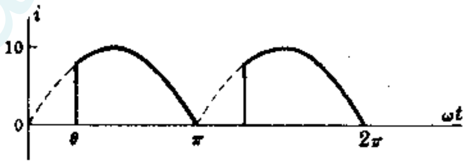

Fig. 2-27

2-38 Un circuito de mando permite variar el ángulo de retraso de la forma de onda de intensidad de corriente de la Fig. 2-27, de manera que el valor eficaz tiene como límites inferior y superior 2,13 y 7,01 amperios, respectivamente. Hallar los ángulos correspondientes. *Sol.* $\theta_1 = 135°;\ \theta_2 = 25°.$

2-39 Hallar el valor eficaz de una onda completa senoidal rectificada cortada en la mitad de su valor máximo como indica la Figura 2-28. *Sol.* $Y_{ef} = 0{,}442\ Y_m.$

2-40 Hallar el valor eficaz de la forma de onda del Problema 2-39 si la onda se corta en 60° o bien $\pi/3$ radianes. *Sol.* $Y_{ef} = 0{,}668\ Y_m.$

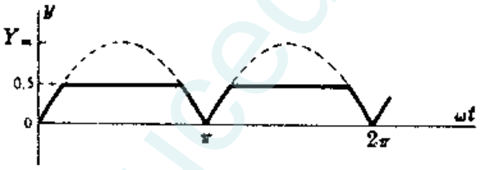

Fig. 2-28

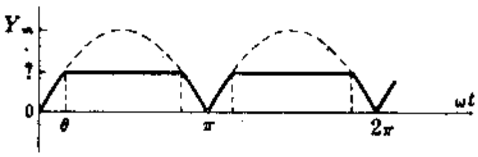

Fig. 2-29

2-41 Una onda completa senoidal rectificada está cortada de forma que su valor eficaz es $0{,}5\ Y_m$, como indica la Figura 2-29. Hallar la amplitud en la que se corta la onda. *Sol.* $0{,}581\ Y_m$ o bien $\theta = 35{,}5°$.

2-42. Hallar los valores medio y eficaz de la forma de onda obtenida de un circuito rectificador de media onda a tres fases como se indica en la Figura 2-30. *Sol.* $V_{med} = 0{,}827\ V_m;\ V_{ef} = 0{,}840\ V_m.$

2-43 La forma de onda resultante de un circuito rectificador de media onda a seis fases es la representada en la Figura 2-31. Hallar los valores V_{med} y V_{ef}. *Sol.* $V_{med} = 0{,}955\ V_m;\ V_{ef} = 0{,}956\ V_m.$

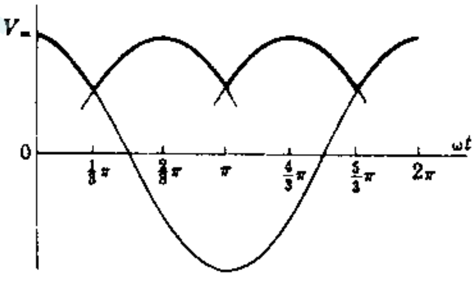

Fig. 2-30

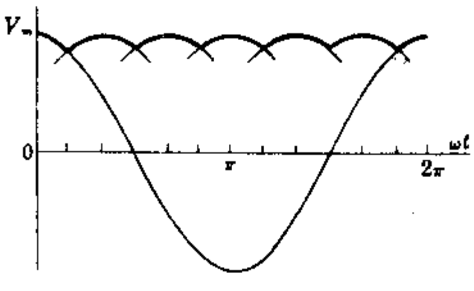

Fig. 2-31