

Comunicaciones eléctricas

Introducción

LA comunicación de las ideas a distancia es una necesidad derivada del carácter social del hombre.

La palabra pronunciada con fuerza nos permite vencer distancias difícilmente superiores a 150 metros. Con signos acústicos obtenidos con sirenas, cornetas, pitos, campanas, etc., podemos alcanzar distancias un poco superiores. El empleo de signos luminosos o visuales, repetidos de puesto en puesto, nos permite comunicarnos a distancias de mayor consideración.

El lenguaje escrito transportado materialmente por un mensajero, o sea la carta, nos faculta para transmitir nuestro pensamiento a cualquier distancia; pero presenta el inconveniente que nuestro corresponsal sólo conoce nuestras ideas mucho tiempo después que las hemos concebido, tanto como demore el mensajero en recorrer la distancia espacial que nos separa.

Esta dificultad, resuelta imperfectamente por la telegrafía óptica, ha sido resuelta en forma definitiva por los sistemas de comunicaciones eléctricas, sistemas de transmisión cuasi-simultánea.

En distancias moderadas el teléfono alámbrico puede decirse que hoy día no tiene competidor. En grandes distancias el telégrafo todavía mantiene su preponderancia. La radio-transmisión últimamente se ha manifestado como un competidor serio, en las comunicaciones transoceánicas, de la telegrafía alámbrica y el futuro parece estarle reservado.

Cuando se trata de comunicarse con estaciones en movimiento, como navíos, aeronaves, trenes, etc., la radiotransmisión es la indicada.

En el estado actual de la técnica parecen equivalentes para las transmisiones trans-oceánicas la radio telegrafía y la por cable submarino. El costo de una estación radio transmisora de gran potencia es sensiblemente equivalente a la colocación de un cable submarino y también en lo que son sus capacidades transmisoras. Sin embargo no es difícil prever que el futuro pertenece a la radio transmisión; tiene al frente un campo más vasto de perfeccionamiento.

* * *

Las comunicaciones eléctricas han sido y son para la industria y el comercio contemporáneos, no sólo un auxiliar poderoso, sino una condición sin la cual no habrían podido alcanzar el grado de desarrollo que hoy tienen.

Imáginese para convencerse de la exactitud de esta afirmación, que por un instante se suprimen todas las comunicaciones eléctricas entre Londres y Nueva York, ¿cómo podrían continuar las transacciones en las Bolsas de estos dos centros financieros, en la ignorancia de las alteraciones del mercado de la otra plaza?

No sólo nuestra organización financiera contemporánea se basa en la transmisión cuasi simultánea del pensamiento, sino también nuestra organización industrial. Suprimidas las comunicaciones eléctricas, la explotación de los ferrocarriles en forma eficiente se haría imposible, y lo mismo puede afirmarse de cualquier otra industria que ocupe una gran extensión espacial.

* * *

La unidad de acción en toda empresa industrial o comercial es uno de los factores más importantes de éxito. Sin necesidad de meditar largamente se comprende la ventaja que significa para un jefe el poder transmitir personalmente órdenes a sus subalternos en el preciso momento en que ellas deben ejecutarse. La eficiencia de un capataz está limitada por la posibilidad de vigilar la acción de cada uno de sus hombres: aunque éstos sean pocos, si su trabajo está muy repartido, vigilarlos es difícil, sino imposible. En esta clase de trabajos repartidos, el teléfono es el auxiliar imprescindible para coordinar la acción y aumentar así la eficiencia.

El problema económico que se presenta en esta clase de instalaciones privadas, consiste en comparar el costo de primera instalación con el aumento de eficiencia que se obtendrá en la empresa. No es fácil plantear este problema en términos precisos, y en la gran mayoría de los casos el empresario debe atenerse sólo a las indicaciones del buen sentido.

* * *

Las comunicaciones eléctricas pueden dividirse en cuatro grandes ramas:

Telegrafía alámbrica.

Telefonía alámbrica.

Sistemas ferroviarios de comunicación y señalización.

Radio-transmisión.

En este orden se procederá al estudio de esta parte de la Electrotecnia, sin pretender agotar la materia, sino simplemente como una introducción a la literatura técnica correspondiente y una orientación hacia la bibliografía que convendrá consultar en cada caso particular.

PRIMERA PARTE

Telegrafia

1. DESCRIPCIÓN DE UN CIRCUITO TELEGRÁFICO

1. Un circuito telegráfico constan esencialmente de una línea generalmente simple y de hierro soportada en partes por aisladores de porcelana, vidrio u otra materia aislante, a la cual van conectados en cada extremo un aparato transmisor y otro receptor. El retorno de la corriente se hace por tierra, y la energía eléctrica es suministrada por baterías primarias o secundarias.

2. No es necesario en la generalidad de los casos emplear un material mejor conductor que el hierro porque la magnitud de la corriente, del orden de decenas de miliamperes, no implica pérdidas óhmicas en la línea dignas de tomarse en cuenta. La aislación, aunque el potencial de trabajo nunca pasa de unos 400 v., debe ser tan perfecta como sea posible para evitar derivaciones a tierra que restan potencia útil en la extremidad receptora. En efecto, como por lo general, las líneas telegráficas son de gran longitud, un defecto de aislación repetido en cada aislador puede integrar una derivación importante de corriente que aumenta la corriente suministrada y disminuye la corriente utilizada por bajar el potencial en el extremo receptor. Para el estudio teórico del comportamiento de una línea telegráfica, se supone que ella es una línea de características uniformemente repartidas: resistencia y conductividad a tierra, fijándose estos datos por unidad de longitud. También influye su capacidad, y de un modo predominante, cuando se trata de telegrafía rápida automática, porque ella y la resistencia son las que ponen un límite a la velocidad de transmisión. La velocidad de transmisión es de suma importancia, pues de ella depende el mayor o menor valor comercial de una línea telegráfica. Más adelante se estudiará en detalle estos puntos esenciales que se han señalado.

3. Los extremos de la línea van conectados a tierra a través de los aparatos del puesto telegráfico. Un puesto sencillo se compone de una batería; de un transmisor que es una llave que pone a la batería

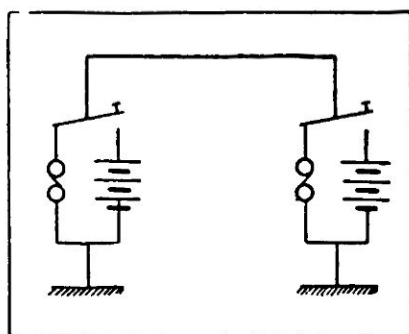


Fig. 1

sobre la línea cada vez que se apoya sobre ella; y de un receptor cuya forma más sencilla es el sonador, que consiste en un electro imán que atrae una armadura sostenida por un resorte antagonista cada vez que circula corriente por el embobinado. La figura (1) da una idea de la forma en que se hacen las conexiones.

4. La posibilidad de emplear la tierra como retorno de la corriente eléctrica, disminuye en forma importante el costo de primera instalación de una línea telegráfica.

Dos hipótesis se han hecho para explicar la función desempeñada por la tierra en el circuito eléctrico. En primer lugar, puede considerársele como una fuente inagotable de energía eléctrica. En este caso podrían asimilarse los generadores de energía eléctrica a bombas con sus tubos de succión sobre el mar y los receptores a turbinas hidráulicas con su descarga también al mar. Como el volumen de agua del mar es prácticamente inagotable, su nivel permanece invariable sea cual sea el caudal puesto en movimiento por los sistemas de bombas y turbinas y sea cual sea el número de estos sistemas en funcionamiento.

La segunda hipótesis considera a la tierra como un conductor de resistencia nula. En estas condiciones se aplica a cualquier circuito eléctrico con retorno por tierra la ley Kirchhof que dice $\sum E = \sum R i$, se tiene

$$\frac{E}{R} = i$$

siendo R la resistencia de la parte artificial del circuito, E la f. e. m. aplicada e i la intensidad de la corriente que circula por la parte artificial, ya que el término que contiene la intensidad I de corriente que circula por la tierra y que nos es desconocida, es cero por ser nula por hipótesis la resistencia óhmica terrestre.

Para efectuar en la práctica la toma de tierra se emplean placas de hierro galvanizado de 75 cm. por lado soldadas a un cable desnudo de cobre. Las tomas de tierra no deben presentar en ningún caso una resistencia superior a 10 Ω . La resistencia de una toma de tierra no puede calcularse a priori: es preciso medirla, pues la resistencia que presenta se debe principalmente a la resistencia de contacto entre tierra y placa. Este último factor varía ampliamente con el estado de humedad del suelo.

Para medir la resistencia óhmica de una toma de tierra es necesario valerse de otras dos tomas de tierra auxiliares. Sean x , y , z las resistencias óhmicas de las tres tomas de tierra que nos son desconocidas, y sea ρ la resistencia del conductor + la del amperímetro + la de la Batería que se empleen en el ensayo. Se hace la medida de la corriente en los tres circuitos que indica la figura (2) y se obtienen las tres ecuaciones siguientes, de las cuales puede obtenerse el valor de x , y , z .

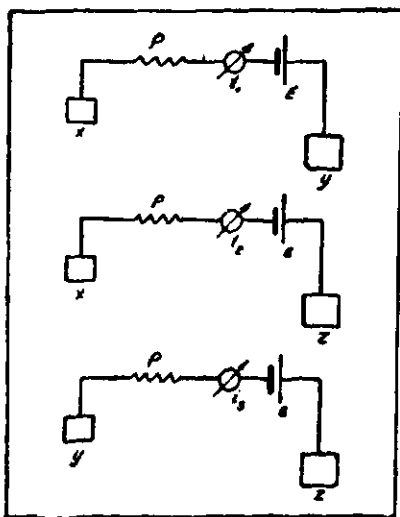


Fig. 2

$$X + y + \rho = \frac{E}{i_1}$$

$$X + z + \rho = \frac{E}{i_2}$$

$$y + z + \rho = \frac{E}{i_3}$$

$$X = \frac{\frac{E}{i_1} + \frac{E}{i_2} - \rho - \frac{E}{i_3}}{2}$$

5. Para medir la resistencia y la aislación de una línea telegráfica se puede emplear un método elemental que, aunque está expuesto a errores por exigir lectu-

ras muy precisas, es en algunos casos aplicable. La manera, por decirlo así, clásica de hacer estas medidas se indicará más adelante, porque implica el conocimiento del circuito de características uniformemente repartidas.

Consideremos (fig. 3) el circuito A B. Se trata de determinar su resistencia óhmica ($X_1 + X_2$) y su resistencia de aislación Z que la suponemos concentrada en un punto de la línea que divide la resistencia de A B en dos trozos de resistencia X_1 y X_2 .

Aplicando la ley de Kirchhof tiene:

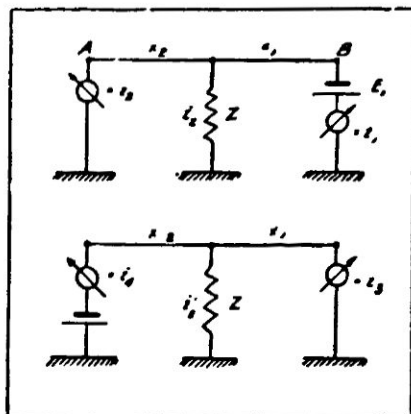


Fig. 3

$$E_1 = X_1 i_1 + Z (i_1 - i_2)$$

$$0 = -Z (i_1 - i_2) + X_2 i_2$$

$$E_2 = X_2 (i_4 - i_3)$$

$$0 = -Z (i_4 - i_3) + i_3$$

$$X_1 = Z \frac{i_4 - i_3}{i_3} = \frac{E_1}{i_1 + i_3} \frac{i_2}{i'}$$

$$X_2 = Z \frac{i_1 - i_2}{i_2}$$

$$= \frac{E_1 i_3}{i_1 (i_4 - i_3) + i_3 (i_1 - i_2)}$$

Los valores de i_1 ; i_2 ; i_3 y i_4 se obtienen con un amperímetro de precisión y los de E_1 y E_2 con un voltímetro también de precisión. Conviene que los valores de E_1 y E_2 difieran lo más posible.

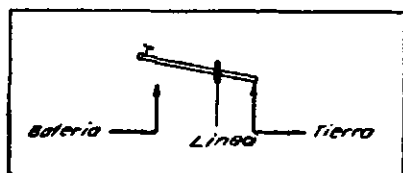
2. INSTRUMENTOS PARA CORRIENTE SENCILLA Y BATERÍAS PRIMARIAS

1. En el capítulo anterior se ha dado un modelo de circuito telegráfico de corriente sencilla. Se llama así porque usa corriente de una sola dirección. Siempre el mismo polo de la batería está conectado momentáneamente a la línea y el otro siempre a tierra.

2. Las señales telegráficas se reciben al oído o son inscritas en una hoja de papel. Se dice que un aparato telegráfico *marca* cuando ejecuta un movimiento correspondiente a la presión del manipulador. Un inscriptor marca en este caso una *raya*. Se dice que un aparato telegráfico *espacia* cuando ejecuta el movimiento correspondiente a dejar el manipulador en su posición normal.

3. Los instrumentos esenciales de todo puesto telegráfico son: el manipulador, el sonador o el inscriptor, y el galvanómetro.

4. El manipulador (fig. 4) es el aparato que sirve para transmitir las señales.



Fi. 4

El usado en los circuitos de corriente sencilla consiste en una palanca con un punto de apoyo central; un resorte la obliga a hacer contacto en su parte delantera; la presión de la mano hace que la otra parte haga contacto e interrumpa el contacto delantero. Los contactos son de platino. Tiene tres terminales: uno corresponde a la palanca, otro al contacto delantero y otro al trasero. Es costumbre conectar a tierra el contacto delantero, a la línea el terminal de la palanca y a la batería el del contacto trasero. Las partes metálicas del manipulador van montadas en una placa de ebonita u otro aislante.

5. Las señales telegráficas se pueden recibir con el oído o con la vista. En el primer caso puede usarse como receptor telegráfico sencillamente una campanilla de golpes, como en ciertos aparatos para ferrocarriles. La campanilla tiene el inconveniente de cansar mucho el oído. En los ferrocarriles puede usarse porque los telegramas que se cambian son siempre similares y se condensan en un signo corto, pero cuando se trata de un telegrama deletreado es casi imposible percibir bien, porque el sonido de la campanilla retumba y los signos se alcanzan unos a otros tan pronto como la transmisión adquiere cierta rapidez. Por esta razón se usa el sonador, que no es otra cosa que una campanilla sorda de golpes, si se trata de recibir telegramas deletreados. El sonador se compone de electro-imán con núcleo de hierro dulce cuya retentividad sea la menor posible, y de una armadura también de hierro dulce fija a un brazo de bronce sostenido por un resorte (de tensión) graduable y que juega en una pieza en forma C con un tornillo que permite graduar el entrehierro. De sus dos terminales uno se une al terminal Tierra del manipulador y el otro a la línea y a la batería local. El receptor visual más sencillo es un galvanómetro: los movimientos de la aguja componen los signos que se interpretan; este sistema suele también usarse en telégrafos para ferrocarriles. Pero el receptor más usado es el inscriptor: es un sonador cuyo brazo termina en una ruedecilla entintada en un depósito y que apoya cuando el aparato marca sobre una huincha de papel que escurre movida por un mecanismo de relojería. Para recibir con el sonador se requiere mucha práctica y buen oído; con el inscriptor basta saber de memoria el alfabeto Morse para interpretar el telegrama; además tiene la ventaja de dejar constancia de la comunicación.

6. El tercer instrumento que complementa el puesto telegráfico es el galvanómetro. Este instrumento no es indispensable, pero sirve al operador para determinar las fallas de los aparatos y de la línea. El usado en los circuitos de corriente sencilla, se compone de una bobina cuyo campo magnético originado por el paso de la corriente hace deflexionar a una aguja entre dos toques. La resistencia de la bobina es de 30 Ω y se requiere una corriente de 9.3 miliamperes para hacer llegar a uno de los toques la aguja.

7. El sonador tiene la bobina enrollada a 21 Ω de resistencia y un shunt entre sus bornes de 420 Ω . La resistencia de combinación es por consiguiente de 20 Ω . El objeto del shunt es evitar la chispa en los contactos de los relays cuando se usa en combinación con ellos. La corriente mínima requerida para su funcionamiento

es de 55 m. a. Cuando se usa con baterías de acumuladores de 24 v. se enrolla la bobina a $1\,000\ \Omega$ con un shunt de $9\,000\ \Omega$ y por consiguiente la resistencia combinada es de $900\ \Omega$. La corriente de trabajo es en estos casos de unos 27 m. a.

8. Es práctica casi general colocar los aparatos telegráficos en serie sobre la línea. El esquema indica la forma en que se procede a hacer las conexiones (fig. 5).

Las iniciales U y D indican las líneas aéreas. La U corresponde a la estación de atrás y la D a la estación de adelante. El shunt de $5\ \Omega$ que se coloca al galvanómetro tiene por objeto reducir su resistencia y evitar que la corriente total de 55 m. a. pase por su bobina que trabaja a 9,3 m. a.

9. Como batería se emplean en esta clase de estaciones pilas Leclanché o secas, que se colocan en serie hasta obtener el voltaje requerido. Es preferible la pila seca, porque la conservación de la pila Leclanché es muy costosa. El potencial de la Batería se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la línea y el número de estaciones. Cuando se usan baterías cuya resistencia interna es pequeña (caso de las pilas secas) es necesario proteger los aparatos telegráficos contra corto-circuitos ya sea con fusibles o con resistencias en serie.

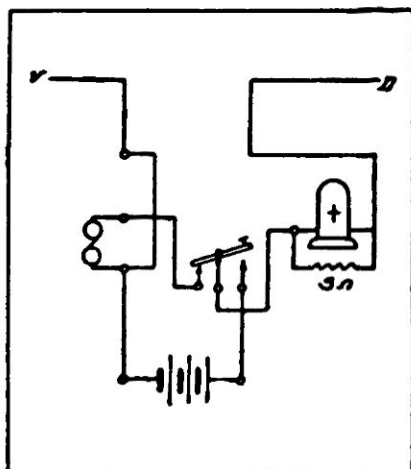


Fig. 5

10. La pila Leclanché más usada en esta clase de instalaciones es la N.º 2. Contiene 0.95 lts. de solución amoniacal. Se usa en sitios en que la evaporación es débil con 227 grs. de sal amoníaco por pila y en sitios en que la evaporación es de importancia con 113,5 grs. por pila. En todo caso es más recomendable una solución débil. Como depolarizante se usa una mezcla bien molida de 1 parte de carbón por 2 de peróxido de Mn en peso. Para la pila # 2 el peso mínimo de mezcla debe ser 600 grs. de los cuales deben corresponder 400 grs. a peróxido de manganeso. Al hacer la mezcla despolarizante debe humedecerse con una solución de ácido hidro-clórico (1 onza por galón) o en su defecto con cloruro de amonio. Para evitar la formación de cristales 1 oz. de cloruro de zinc por 1 pinta. No conviene usar pilas con solución amoniacal en presencia de baterías secundarias, porque el desprendimiento de los gases amoniacales daña al acumulador. En estos casos se recomienda usar en lugar de la solución amoniacal, una solución de clorato de magnesio. De ensayos hechos en pilas Leclanché N.º 2 con solución de 230 grs. por litro se deduce que su resistencia interna es $1,5\ \Omega$; su voltaje inicial, sobre $32\ \Omega$, 1,5 volts; los waththoras suministrados en una descarga sobre $32\ \Omega$ hasta que su D. P. baje a 1 volts, 21 Wh en 500 horas de trabajo continuo, en un régimen medio de corriente de 38 m. a.

11. Los tamaños Standard de pilas secas son los siguientes:

N.º	DIÁM. cm.	ALTO cm.	PESO grms.	
4	4	10	240.—	
6	6,5	15	900.—	
8	9	20	2 500.—	

Las pilas secas europeas tienen un saqueto para proteger la mezcla despolarizante. Las americanas no tienen esta protección; por esta razón su resistencia interna es mucho menor. Al adquirir pilas secas lo principal es que sean frescas, porque pierden sus cualidades en seis meses de almacenaje. El calor influye también en su descomposición. Una pila seca N.º 6 rinde hasta que su D. P. ha descendido a 1 volts, descargada sobre 32Ω , alrededor de 40 w h. Su D. P. inicial es de 1,5 volts y su resistencia interna de 0,25 a 0,5 ohms.

3. INSTRUMENTOS DE DOBLE CORRIENTE

1. Se llaman circuitos de doble corriente aquellos en que la línea queda conectada con uno u otro polo de la batería según se presione o no sobre el manipulador. No es práctica frecuente emplear circuitos de corriente doble en sistemas simplex: esta disposición es casi exclusivamente empleada en los sistemas duplex.

2. Se llama *simplex* el sistema que hemos estudiado en los capítulos anteriores, en el cual sólo es posible a un puesto telegráfico despachar un telegrama o recibir un telegrama, pero no ejecutar estas dos operaciones simultáneamente. Se llama *duplex* el sistema que permite ejecutar estas dos operaciones simultáneamente.

3. El manipulador empleado en los sistemas de doble corriente es un conmutador que al ser presionado cambia la polaridad de la batería. Hay tres clases de llaves de doble corriente: la primera tiene 2 manipuladores, uno para mandar impulsos negativos y la otra para mandar positivos; la segunda tiene un solo manipulador, que al ser presionado invierte el sentido de la corriente y además un interruptor auxiliar que desconecta la batería pero deja en situación de recibir; la tercera es una llave exactamente igual a la usada en simple corriente con la adición de un interruptor auxiliar que desempeña el mismo papel que en el caso de las llaves de 2.ª clase.

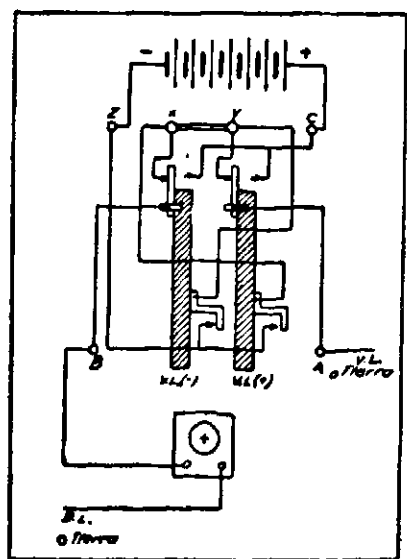


Fig. 6

4. Las llaves de la primera clase, cuyo esquema (fig. 6) se puede examinar, sólo se usan hoy día excepcionalmente. Los pedales los maneja el operador con los pies. Estos transmisores se usan en combinación con receptores visuales de agujas cuya descripción se hará más adelante, y forman con ellos un solo instrumento encerrado en un escritorio donde se coloca el operador que queda con sus manos libres para escribir. Esta clase de instrumentos fueron de los primeros usados en telegrafía.

5. El manipulador de doble corriente, cuyo esquema puede examinarse (Fig. 7), se usa en circuitos telegráficos de doble corriente simplex, duplex, o cuádruplex. Como ya se dijo tiene un interruptor auxiliar que desconecta la batería y hace las conexiones necesarias para permitir la recepción. Los esquemas inferiores indican las conexiones hechas por el manipulador en su posición normal (S), presionado (M) y para recibir (R).

El manipulador de doble corriente se conecta en el puesto en la forma que se indica en el esquema (fig. 8), y siempre se usa en combinación con un instrumento polarizado, ya sea sonador, inscriptor o relay.

6. El manipulador llamado «de corriente simplex con llave», cuyo esquema

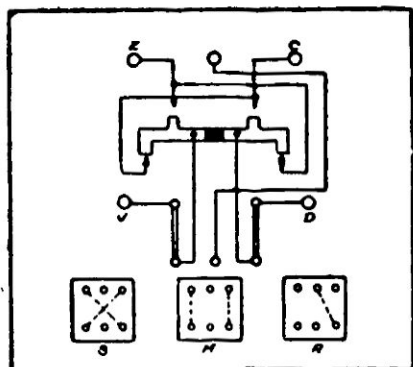


Fig. 7

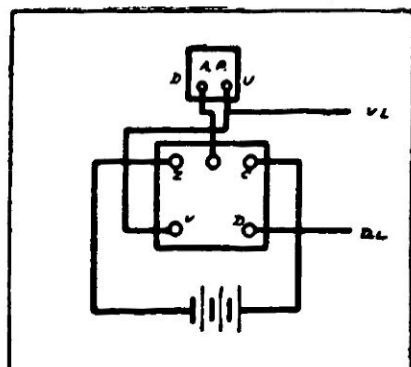


Fig. 8

puede examinarse (fig. 9), se usa en circuitos de doble corriente, simplex o duplex, conectándolo a una batería dividida. Su empleo exige, pues, un número doble de pilas que el manipulador del tipo anterior.

En la práctica sólo se usa esta clase de manipulador en los casos de duplex con batería universal. Sus condiciones de trabajo se estudiarán más adelante al tratar de este sistema telegráfico. Sin embargo, nada impide usarlo en circuitos simplex como el que se indica en diagrama, fuera del número de pilas demandado, que es doble que con el de «doble corriente».

7. El más sencillo de los receptores de doble corriente es el receptor de aguja. Fueron de los primeros instrumentos usados. Pueden considerarse como un aparato completo, pues, como ya se dijo al tratar del transmisor que se usa en combinación con ellos, se construye el conjunto encerrado en un mueble. Estos receptores de aguja se construyen de dos clases tipo Varley o tipo Spagnoletti. Ambos sistemas consisten en una aguja de hierro dulce magnetizado por inducción, por un sistema de imanes permanentes y que puede moverse en el campo de un sistema de bobinas, cuyos terminales van conectados a tierra y línea.

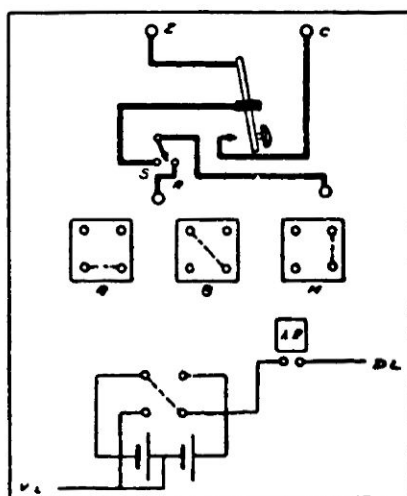


Fig. 9

Al cambiar el sentido de la corriente en las bobinas cambia la dirección del campo generado por ellas y p. c. la aguja se inclina a uno u otro lado. Un tipo se diferencia del otro solamente en el sistema usado para inducir el magnetismo de la aguja. No se dan mayores detalles porque esta clase de receptores está casi totalmente abandonados. (Véase Herbert p. 195).

8. Los otros receptores usados en el sistema de doble corriente, son el sonador polarizado y el inscriptor polarizado. Como el inscriptor en su parte eléctrica es exactamente igual al sonador y en su parte mecánica no se diferencia en nada del inscriptor de simple corriente basta el estudio del sonador polarizado.

9. El sonador polarizado es uno de los instrumentos que se presta para efectuar las combinaciones más variadas y útiles en telegrafía. Es un instrumento muy sensible y la teoría de su funcionamiento es la misma que la de relay polarizado y de los receptores telefónicos.

El aspecto exterior de un sonador polarizado tipo Vyle es el mismo que el de los sonadores no polarizados, con la única diferencia que tiene cuatro terminales en lugar de dos, pues su embobinado está dividido en dos partes (embobinado diferencial), de modo que estas dos partes puedan usarse en serie o en paralelo. Estos sonadores no vienen provistos de shunt por-

que no se usan, por lo general, en combinación con relay ya que su sensibilidad es del mismo orden que la de un relay corriente. Los núcleos de las bobinas del sonador son de hierro dulce, imantadas por inducción por un imán permanente de herradura colocado en la parte inferior. El campo generado por la corriente intensifica o debilita el campo del imán permanente. El resorte de la armadura se regula en forma que cuando no pasa corriente las posiciones extremas de la armadura sean de equilibrio. Los límites entre los cuales puede trabajar el instrumento una vez ajustado en la forma dicha son entre 3 m. a. y 40 m. a. sin reajuste alguno. Para el ajuste del relay hay plantillas, (8 mils. y 16 mils.) que permiten ajustar los tornillos a las distancias indicadas en la figura. El sonador se cons-

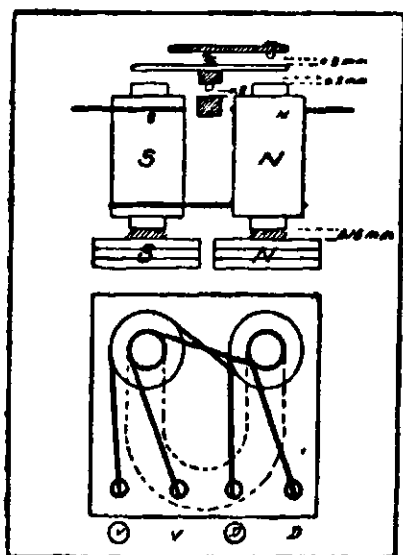


Fig. 10

truye con diferentes resistencias. $100 \times 100\Omega$; $500 \times 500\Omega$; $1000 \times 1000\Omega$ y 4500Ω no diferencial. La inductación de este instrumento es de 62 henrys. (fig. 10).

10. Consideremos el sistema de la figura 11, compuesto de un electro imán excitado por una bobina de N vueltas que recibe de la batería una corriente I. Usaremos para mayor comodidad unidades absolutas. Se trata de determinar la fuerza con que el electro-imán atrae a la armadura. Según Maxwell esta fuerza es:

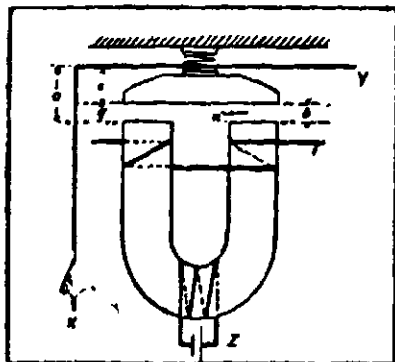


Fig. 11

$$F_0 = \frac{B_0^2}{8\pi} 2 S_0 \text{ dinas.}$$

en cuya expresión B_0 es la densidad de flujo en el entre-hierro en dinas y S_0 la sección recta de cada uno de los polos en cm^2 . Tenemos que

$$B_0 = \frac{\varphi_0}{S_0}$$

$$\varphi_0 = \frac{F_0}{R_0}; R = \frac{2d}{S_0} + \frac{l_0}{\mu_0 S_0} + \frac{l}{\mu S}$$

En esta última expresión d es la distancia que separa la armadura de los polos, l_0 la longitud del electro-imán μ_0 su permeabilidad magnética, l , la longitud de la armadura μ , su permeabilidad magnética y S , su sección transversal recta en cm^2 . La fuerza magneto-motriz F_0 es en este caso igual a

$$F_0 = 4 \pi N I$$

Si se tratara de un imán permanente sería necesario calcular este f. m. m. por comparación y ella residiría en la constitución molecular del hierro imantado, como en nuestro caso recide en la energía química de la batería.

Como primera aproximación se puede considerar la reluctancia

$$R = \frac{2d}{S_0}$$

Ya que los otros dos términos son muy pequeños en comparación de éste, siempre que d tenga un valor del mismo orden que l y l_0 . De aquí se deduce:

$$\varphi_0 = \frac{F_0}{2d} S_0$$

$$B_0 = \frac{F_0}{2d}$$

y por consiguiente:

$$(1) F_0 = \frac{B_0^2 S_0}{4\pi} = \frac{F_0^2 S_0}{16\pi} \cdot \frac{1}{d^2} = \frac{K}{d^2}$$

llamando $K = \frac{F_0^2 S_0}{16\pi}$ para simplificar la notación.

Ahora bien elijamos un sistema de ejes coordenados como el de la figura, tal que cuando $x=0$ la fuerza ejercida por el resorte sobre la armadura sea nula.

En estas condiciones la fuerza F_1 ejercida por el resorte sobre la armadura en una posición cualquiera x de ésta, sería, llamando s el coeficiente de rigidez del resorte:

$$(2) F_1 = s x$$

Por otra parte tenemos que

$$(3) \quad d = c - x$$

$$(4) \quad x = c - d$$

Escribamos la ecuación de equilibrio estático reemplazando en (1) d por su valor (3)

$$s x = \frac{k}{(c-x)^2} + P.$$

en que P es el peso de la armadura. Esta es una ecuación de 3.^{er} grado que tiene 2 raíces reales que corresponden a las dos posiciones^{*} de equilibrio de la armadura. Hemos visto que el sonador Vyle se construye en forma que las posiciones de equilibrio correspondan a distancias de 16 mils (0,4 m. m.) y 8 mils (0,2 m. m.) de la armadura al plano de los polos. Examinemos qué condición debe realizarse para obtener este resultado. Llamemos a y b estas distancias. Podemos escribir:

$$\left. \begin{aligned} s(c-b) &= \frac{k}{b^2} + P \\ s(c-a) &= \frac{k}{a^2} + P \end{aligned} \right\} s(b-a) = k \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right)$$

Luego:

$$\frac{s}{k} = \frac{b+a}{a^2 b^2}$$

Luego si reemplazamos a y b por sus valores tenemos que la condición buscada es:

$$\frac{s}{k} = \frac{6000}{64}$$

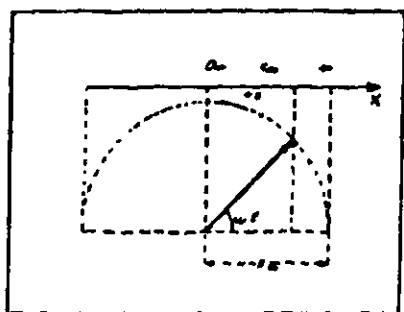


Fig. 12

11. Para el estudio dinámico del sonador conviene adoptar el método desarrollado por A. E. Kenneley para el estudio experimental de los instrumentos eléctricos vibratorios. Los desplazamientos de un cuerpo en vibración pueden considerarse como las proyecciones sobre el diámetro de un móvil que se mueve en un círculo de radio igual a la amplitud máxima x_m de la vibración y con una velocidad angular igual a $2\pi f = \omega$ siendo f la frecuencia de

las vibraciones del cuerpo considerado. Tenemos (fig. 12).

$$x = x_m \cos \omega t = x_m$$

$$\frac{dx}{dt} = -x_m \omega \sin \omega t = -x_m \omega \cos (\omega t - 90^\circ) = +j \omega x_m$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -x_m \omega^2 \cos \omega t = -\omega^2 x_m$$

Conviene referir x y $\frac{d^2x}{dt^2}$ al vector que representa la velocidad que designaremos por $\dot{X}_m$. Luego:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{X}_m = j \omega x_m$$

$$x_m = x = \frac{\dot{X}_m}{j \omega} = -j \frac{\dot{X}_m}{\omega}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = j^2 \omega^2 x_m = j \omega \dot{X}_m$$

La ecuación mecánica del movimiento de la armadura es

$$sx + r \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} = F_i$$

en que r es la resistencia del medio, m la masa mecánica del móvil y F_i la fuerza v. m. a que se encuentra sometido, expresada como función del tiempo. Si las vibraciones son forzadas, que es el caso, y si F es una función sinusoidal del tiempo, lo que puede admitirse como aproximación, puede escribirse aceptando las notaciones que habíamos determinado más arriba:

$$-j s \frac{\dot{X}_m}{\omega} + j m \omega \dot{X}_m + r \dot{X}_m = \dot{F}_i$$

La pulsación ω es la impuesta por la frecuencia de F . De esta ecuación resulta.

$$(5) \quad \dot{X}_m = \frac{\dot{F}_i}{r + j \left(m \omega - \frac{s}{\omega} \right)}$$

Fórmula análoga a la de las corrientes alternas y para el estudio de la cual pueden aplicarse los mismos métodos empleados en aquel caso.

Antes de pasar adelante conviene examinar la naturaleza de la fuerza F_i (vibromotriz). Supongamos que por las bobinas del electro-imán pasa una corriente i . La fuerza que en aquel instante atrae a la armadura será:

$$F = \frac{B^2}{8\pi} 2 S_0$$

$$B = B_0 + B_i$$

siendo B_i la densidad de flujo originado por el paso de la corriente i .

$$B_i = \frac{F_i}{2d} S_0 ; F_i = 4\pi N_i i$$

en que N_i es el número de vueltas del embobinado. De aquí:

$$F = \frac{S_0}{4\pi} (B_0 + B_i^2)$$

$$F = \frac{S_0}{4\pi} (B_0^2 + 2B_0 B_i + B_i^2)$$

En la práctica B_i^2 es despreciable al lado de los otros dos términos. Luego:

$$F - F_0 = \Delta F = F_i = \frac{B_0 S_0}{2\pi} \cdot B_i$$

Esto nos enseña que si no hubiera imán permanente o un campo permanente que dé lugar en el hierro a la densidad de flujo B_0 , el valor de F_i sería sólo:

$$F_i = \frac{S_0}{4\pi} B_i^2$$

y que por consiguiente el magnetismo permanente significa una ganancia de $2 \frac{B_0}{B_i}$ veces en la intensidad de la f. r. m.

B_i es proporcional a i si se hace abstracción de las variaciones en su valor que implican las variaciones de d durante las vibraciones. Luego si i es una función sinusoidal del tiempo B_i también lo es y, p. c. F_i siempre que exista un campo magnético permanente, pues en caso contrario sería una función de frecuencia doble (ya que B_i aparece al cuadrado y $\sin^2 \omega t = \frac{\cos 2\omega t - 1}{2}$). De aquí que para los receptores telefónicos sea doblemente necesario el imán permanente.

Volviendo a la ecuación (5), si la pulsación ω de F_i coincide con la pulsación natural del sistema, es decir, con una pulsación ω_0 tal que:

$$m\omega_0 - \frac{S}{\omega_0} = 0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{S}{m}}$$

se tendría que:

$$x_m = \frac{\dot{F}_i}{r}$$

la velocidad de la vibración adquiriría p. c. su valor máximo y también la amplitud. Este es un fenómeno de resonancia mecánica que ha dado origen a catástrofes en estructuras metálicas como puentes, en máquinas rotatorias y alternativas y que debe tenerse en cuenta en la construcción de las líneas de contacto de los FF. CC. eléctricos. En el caso que nos ocupa, si no da lugar a catástrofes, sin embargo influye en forma preponderante en el problema de las interferencias que examinaremos detalladamente más adelante.

NOTA.—La ecuación dinámica discutida es en el caso del sonador sólo una primera aproximación, pues la f. v. m. no sólo es una función del tiempo sino también de la abscisa x o sea de la posición del móvil con respecto al imán.

4. RELAYS USADOS EN TELEGRAFÍA

1. Se llama Relay al aparato receptor que sirve para cerrar un circuito local, cuando mediante un transmisor colocado a distancia se cierra el circuito en que el propio relay está insertado. Su objeto es hacer posible el suministro de una corriente más intensa al receptor, que da la señal, que la corriente recibida del puesto lejano.

2. Los relays se dividen en relays «polarizados» y no polarizados. Los primeros obedecen a cambios en la dirección de la corriente. En los segundos su acción es independiente del sentido de la corriente.

3. Un ejemplo de relay no polarizado es el llamado «sonador relay» que se emplea en ciertos casos en los sistemas cuadruplex con el objeto no de suministrar una corriente más intensa, sino de efectuar ciertas conexiones en el momento preciso. Su construcción es la misma que la de un sonador de simple corriente con el agregado de los contactos para el circuito secundario y los tres terminales correspondientes, y con la diferencia de ser sus electro-ímanes más cortos y su armadura más ligera. Los embobinados del electro-imán tienen una resistencia de 44Ω y vienen shuntados por una resistencia de 440Ω ; su resistencia total es p. c. de 40Ω , y su corriente efectiva 100 m. a. Otro relay no polarizado es el tipo «B» del B. P. O. Se usa principalmente en los circuitos cuadruplex. Su aspecto exterior es el de un cilindro de bronce con su base superior de cristal que permite ver dos contactos del platino del circuito local, colocado sobre una base de madera con 7 terminales. «Los dos electro-ímanes van colocados verticalmente uno al lado del otro con sus piezas polares inclinadas de manera que el circuito magnético se cierre de núcleo a núcleo a través de las armaduras. La lengüeta es mantenida en contacto con el tope derecho mediante un resorte, y una corriente que pase por los embobinados cualquiera que sea su dirección, obliga a las armaduras a girar en sentido contrario a la tensión del resorte; la lengüeta solidaria de las armaduras abandona entonces el tope derecho y cae sobre el izquierdo». El relay viene generalmente enrollado diferencialmente para que pueda usarse en los sistemas cuadruplex. Corrientes de igual magnitud de D a U en una bobina y de U a D en la otra o vice-versa

no accionan el relay. Corriente que escurra en un solo embobinado o en los dos en el mismo sentido cualquiera que él sea, acciona al relay». Cada una de los armaduras está dividida al centro por una veta de material no magnético con el objeto de aumentar la reluctancia y p. c. la fuerza desmagnetizante y evitar así magnetismo remanente. Se construye en dos tipos principales: el tipo B de $100\ \Omega + 100\ \Omega$ de resistencia y corriente efectiva de 6 m. a. a 15 m. a. y el tipo C de mayor tamaño de misma resistencia y corriente efectiva de 4,5 m. a. a 10 m. a. (fig. 13),

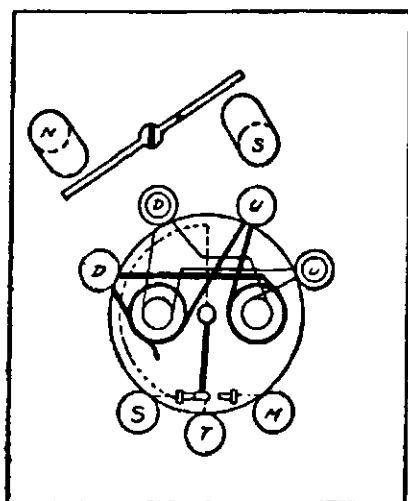


Fig. 13

pero se diferencia de él en la forma de la armadura, en la colocación de las piezas polares y en estar provisto de un imán permanente que magnetiza por inducción a las

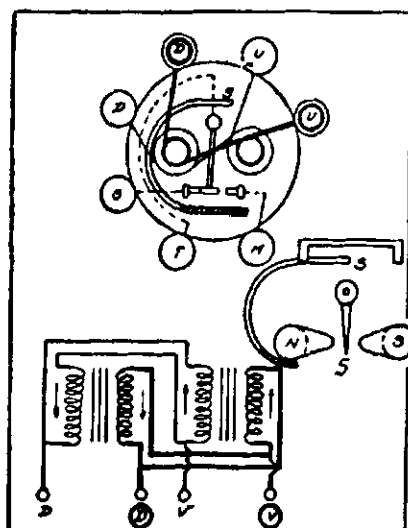


Fig. 14

4. Para el estudio del relé polarizado nos referiremos en especial al Relay Standard tipo B del B. P. O. (fig. 14). Es indudablemente el mejor de todos los en uso y el que tiene mayores aplicaciones. Se puede usar tanto en circuitos de simple corriente como de doble corriente, y se adapta a los sistemas simplex, duplex y cuadruplex. Es un relé de aspecto exterior semejante al tipo B «no polarizado». Tiene, como éste, embobinado diferencial;

pero se diferencia de él en la forma de la armadura, en la colocación de las piezas polares y en estar provisto de un imán permanente que magnetiza por inducción a las armaduras. Las armaduras son piezas de acero en forma de hachas colocadas una en la parte superior y otra en la inferior de un eje de bronce. La superior juega entre las piezas polares superiores de los electroimanes y la inferior entre las inferiores. El imán permanente en forma de herradura proyectada sobre una superficie cilíndrica, tiene un polo Sur frente al punto de unión de la armadura superior con el eje de bronce y p. c. induce magnetismo S en el extremo de la armadura que juega entre los polos. Una situación inversamente análoga se produce en la parte inferior. Así, pues, cuando la corriente pasa en un sentido determinado por las bobinas queda el polo N de un electroimán frente al polo S del otro y los 4 polos por consiguiente concurren en hacer girar el eje con las armaduras en el mismo sentido. Este mismo eje arrastra

a la lengüeta que hace los contactos del circuito secundario o local.

El relé tipo B del B. P. O. se construye con embobinado diferencial. Su resistencia es de $100 + 100\ \Omega$. Colocadas las bobinas en serie puede funcionar con 5 m. a.; colocadas en paralelo se requiere una corriente total de 10 m. a. para obtener el mismo efecto. Para decidir si se usa en paralelo o en serie, se prefiere

aquella combinación que exija un menor potencial de la batería. En efecto, sea L la resistencia de la línea, el voltaje de la batería sería:

$$\begin{aligned} \text{Bobinas en serie: } E_s &= 10^{-3} (5.L + 5.200) \\ \text{» » paralelo: } E_p &= 10^{-3} (10.L + 10.50) \end{aligned}$$

Del gráfico (fig. 15) se deduce claramente que cuando la línea tiene más de 100Ω de resistencia conviene usar la combinación serie y cuando menos la paralelo.

Es condición necesaria en el relay tipo B que su embobinado diferencial esté perfectamente compensado para que pueda trabajar correctamente en los circuitos duplex o para desempeñar funciones similares. En primer lugar se requiere que los embobinados generen campos iguales y opuestos en los núcleos. Para comprobarlo se hace un ensayo con el relay en la forma indicada en la figura 16. Si al apoyar sobre el manipulador el relay no funciona, quiere decir que satisface esta primera condición, pues los 4 embobinados están recorridos por la misma corriente.

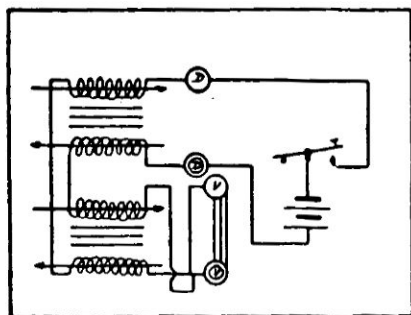


Fig. 16

En segundo lugar es necesario que las resistencias óhmicas de los embobinados sean iguales, lo que se comprueba con un ensayo como el indicado en la figura 17. Si al cerrar el circuito el relay no funciona, quiere decir que cumple también con esta segunda condición, pues ello significa que la corriente en los embobinados es la misma y p. c. su resistencia.

En la figura 17 se muestra un circuito de prueba para verificar la igualdad de resistencias de los embobinados. El circuito incluye una batería, un interruptor, y cuatro bobinas conectadas en paralelo. Un amperímetro mide la corriente total que fluye a través del conjunto de bobinas.

5. En caso de líneas largas cuya velocidad de transmisión es reducida, se reemplaza el relay polarizado por un relay tipo Gulstad. Este relay es igual al tipo B con la adición de dos embobinados auxiliares cuyo objeto es conectarlos a un circuito local auxiliar cuya función es mantener la lengüeta en continua vibración. En la figura 18 se ven las conexiones de este circuito auxiliar, y en la figura 19 el embobinado efectivo de un relay Gulstad. Los terminales (D) $\equiv$ (U) de la figura 18 corresponden al terminal A de la fig. 19; el terminal D al B; y (U) al C. El receptor conectado al relay está continuamente marcando puntos (.) y la corriente transmitida del otro puesto tiene por efecto intercalar las rayas (—). Al insertar el relay en el circuito debe vi-

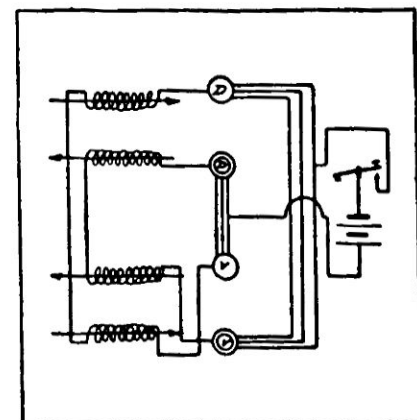


Fig. 17

brar con una frecuencia igual a la frecuencia del transmisor automático del otro puesto.

Este relay ha permitido alcanzar velocidades de 200 palabras por minuto con

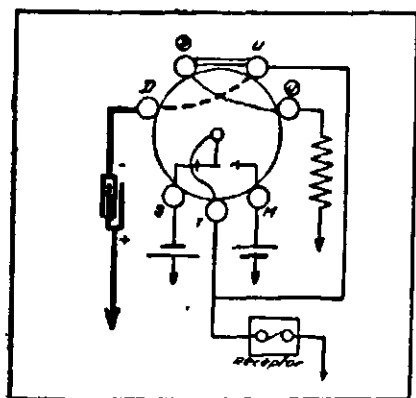


Fig. 18 (1)

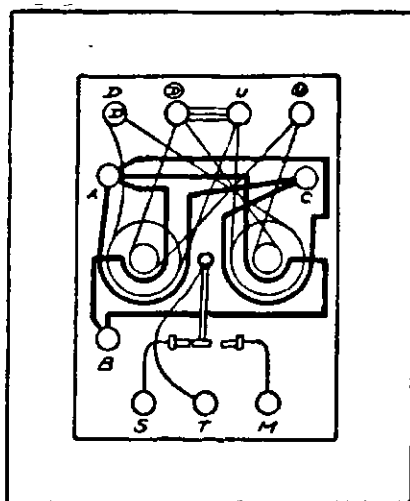


Fig. 19 (2)

corriente no superior a 1 1/2 m. a. en líneas cuyo K R era de 0.75 segundos. Un estudio más preciso de este tipo de Relay podrá hacerse al final del curso.

5. CIRCUITOS SIMPLEX Y DUPLEX DE SIMPLE CORRIENTE

1. Conviene recordar la definición dada en el cap. II del circuito de corriente sencilla o simple: es aquel en que se usa corriente de una sola dirección y en el cual siempre el mismo polo de la Batería está conectado a la línea y el otro siempre a tierra.

2. Sistemas telegráficos simplex son aquellos, en que en un instante determinado, sólo un telegrama puede transmitirse por la línea.

3. Llámense sistemas duplex aquellos que permiten transmitir por una sola línea simultáneamente un telegrama en un sentido y otro en el sentido opuesto.

4. Hay dos sistemas de simplex: el de circuito abierto y el de circuito cerrado. El primero es el que hemos descrito y al que nos hemos referido al iniciar este curso. El segundo consiste, como claramente se ve en el esquema, en hacer que la corriente fluya permanentemente por la línea y que su interrupción haga marcar al receptor. Este sistema se emplea mucho en Alemania. Con el sistema de circuito cerrado trabajan todas las Baterías simultáneamente, con el de circuito abierto sólo trabaja la Batería de aquella estación que trasmite el telegrama. Por consiguiente, con este sistema se requieren en cada estación tantas pilas como sean necesarias para hacer funcionar (simultáneamente) todos los aparatos insertados. Con el sistema de circuito cerrado sólo precisan, en total, tantas pilas como en una sola estación en el otro sistema, y todavía se pueden concentrar en una sola estación (Batería Central; caso que se estudiará en detalle más adelante). De aquí se desprende una economía de pilas, aunque por otra parte su corriente fluye con-

tinuamente desgastándose. Sin embargo, este desgaste será menor mientras mayor sea el recargo de trabajo de la línea. Se deduce, pues, que el circuito cerrado se presta en especial para los casos de muchas estaciones sobre la misma línea y de trabajo intenso. Este es el caso de los ferrocarriles y por eso este sistema debe ser el preferido. (Véase W. Cauer—Sicherungsanlage in Einseilbahnbetrieben).

Hay otra consideración de importancia que hace preferible el circuito cerrado al circuito abierto y es la regulación de los receptores. En el sistema abierto, si las baterías no están todas en el mismo estado, los receptores deben ajustarse cada vez que transmite una estación diferente, ya que la corriente que suministrará a la línea será mayor o menor según sea el voltaje de su batería y que el receptor obedecerá correctamente sólo cuando la tensión del resorte (del sonador o del inscriptor) haya sido regulada para esa corriente de magnitud determinada. En cambio, en circuito cerrado, como fácilmente se comprende, cualquiera que sea la estación que transmite, el efecto sobre los receptores será siempre el mismo, y sólo habrá necesidad de ajustarlos a todos por parejo a medida que las baterías se desgasten.

Tanto los sistemas abiertos como cerrados se emplean con relays (no polarizados o polarizados) si la resistencia de la línea obligara a potenciales elevados para suministrar la corriente de trabajo. El criterio para decidir entre el trabajo directo o el con relays es el número total de pilas que deban emplearse sobre la línea en cada caso, eligiéndose aquel sistema que exija un menor número. Al estudiar el circuito con relays deben contarse no sólo las pilas en la línea (circuito principal) sino también las pilas requeridas para los circuitos locales.

Para comparar los resultados económicos que pueden obtenerse con el circuito cerrado y el circuito abierto, conviene proceder en la forma siguiente. Sea:

N = número de puestos telegráficos que trabajan en la línea.

h = el tiempo en horas que representa la suma de instantes que permanecen los manipuladores presionados, durante un período de 24 horas.

t = el tanto por uno anual.

p = precio unitario de las pilas.

n = número de pilas en la línea.

d = número de pilas desgastadas en el año que se requiere reponer.

G = gastos anuales que impone la existencia y mantenimiento de la Batería en condiciones de trabajo.

Se tiene:

$$G = n t p + d p.$$

$$\frac{G}{p} = n t + d$$

En caso de emplearse el circuito cerrado, usarse sonadores de 40 Ω de resistencia con un régimen de corriente de 30 m. a. y usar pilas secas, que en estas condiciones de trabajo duran 1,200 horas, se tendría:

$$30 = \frac{n \cdot 1,2 \text{ volts}}{N \cdot 40 \text{ ohms}}$$

sin tomar en cuenta la resistencia de la línea. Luego

$$n \cong 9N$$

Por otra parte:

$$d = \frac{(24 - h) 365}{1200} n = 2,75 N (24 - h)$$

De donde resulta:

$$\frac{G_c}{p} = 9Nt + 2,75 (24 - h) N$$

$$\frac{G_c}{p} = [9t + 2,75 (24 - h)] N$$

En caso de emplear en esta misma línea circuito abierto se tendría:

$$n = 9N^2$$

$$d = \frac{365 h n}{1200 \cdot N} = 2,75 hN$$

considerando que h/N es el tiempo medio por día que cada Batería permanece en servicio.

De aquí resulta:

$$\frac{G_a}{p} = 2,75 hN + 9tN^2$$

Igualando estas dos expresiones y despejando N tenemos:

$$N = 1 + \frac{2,75 (24 - 2h)}{9t}$$

Luego siempre que el número de puestos telegráficos sobre la línea (N) sea mayor que la expresión a que hemos llegado convendrá usar circuito cerrado y en caso contrario circuito abierto.

Para fijar ideas supongamos una línea telegráfica de un ferrocarril con 20 estaciones y que despacha 20 trenes diarios. Para el despacho de cada tren será necesario transmitir 5 telegramas de cada estación. Se puede estimar que el manipulador permanece presionado durante 18" en la transmisión de cada una de estos

telegramas. Luego: $h = 5 \cdot 18 \cdot 20 \cdot \frac{20}{3600} = 10$ horas.

Con el interés igual al 8% se tiene $t = 0,08$ y p. c.

$$N \geq 1 + 4 (24 - 20) = 17$$

Por consiguiente convendría en este caso particular el empleo del circuito cerrado (1).

(Continuará)

(1) De una experiencia hecha resultó que el tiempo que permanece presionado el manipulador durante el despacho de un tren es de 70" para los 5 telegramas de reglamento.