

## AS RADIOCOMUNICAÇÕES NA PRODUÇÃO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

### 1 — Necessidades de comunicações

A indústria da produção, transporte e distribuição da energia eléctrica, mesmo quando cada uma destas actividades é explorada por entidades diferentes, necessita de sistemas coordenados de telecomunicação, a fim de poder garantir exploração eficiente.

Este aspecto, por tão evidente e tão conhecido de todas as entidades que se dedicam àquelas indústrias, não carece que dele nos ocupemos em pormenor.

Por uma questão de sistematização importa, porém, apontar, em linhas gerais e talvez incompletas, as necessidades básicas dos vários ramos da referida indústria.

Assim, no que respeita à produção, e no caso de esta se encontrar coordenada, como em regra sucede e se verifica entre nós, haverá que dispôr de um sistema de telecomunicações entre as várias centrais produtoras e o organismo coordenador, pelo qual seja possível a transmissão de dados de teledada, por vezes de telecomando, e ainda de ordens, estas por via telefónica.

No transporte e grande distribuição, análogos problemas se põem entre as subestações, havendo a acrescentar a necessidade de comunicações rápidas com as brigadas de conservação e reparação das linhas.

No caso da pequena distribuição, quer esta abranja núcleos populacionais dispersos por grande área, quer se restrinja a um grande aglomerado urbano, põe-se a conveniência de comunicações entre o centro de conservação e reparação e as brigadas móveis encarregadas deste trabalho.

Vê-se, assim, que as necessidades da indústria da electricidade em matéria de telecomunicações se podem agrupar em dois tipos fundamentais:

- a) comunicações entre pontos fixos;
- b) comunicações entre dados pontos fixos e brigadas móveis.

Dentro da terminologia usada em telecomunicações dir-se-á que tais necessidades correspondem a:

- a) comunicações de serviço fixo;
- b) comunicações de serviço móvel.

### 2 — Meios para satisfação das necessidades

A técnica actual das telecomunicações fornece duas possibilidades de realização de comunicações: por condutores e por via radioeléctrica.

No primeiro caso, que pode apenas, como é evidente, ser aplicado às comunicações de serviço fixo, duas soluções são possíveis:

- a) a utilização dos meios da rede telefónica nacional;
- b) a utilização de sistemas de alta frequência aproveitando as linhas de alta tensão como condutores.

Como as centrais produtoras se encontram, muitas vezes, em locais pouco povoados, a adopção da solução a) encontra dificuldades apreciáveis, a que não são também alheios aspectos económicos importantes, se se tiver em conta a extensão dos circuitos indispensáveis e a necessidade de permanência destes.

Por isso se recorre normalmente à solução b), que permite uma fácil interligação de todos os pontos fundamentais.

As comunicações de serviço móvel não podem ter outra solução que não seja o recurso à via radioeléctrica. É evidente que, se desprezarmos todos os outros factores que intervêm no assunto, o recurso à radioelectricidade poderá também resolver o problema das ligações de serviço fixo.

### 3 — Condicionamento das várias soluções

Indicámos anteriormente o condicionamento que recai sobre a utilização da rede telefónica nacional. Não nos deteremos mais sobre ele, uma vez que tal condicionamento é exclusivamente de carácter económico. Não se trata, pois, de uma impossibilidade, mas apenas de um aspecto já de certo modo subjectivo, para, a partir dele, se concluir se tal recurso é ou não economicamente suportável, pelo menos quando encarado como complementar dos sistemas de alta frequência pelas linhas de transporte ou, mesmo, do sistema radioeléctrico.

Haverá que reconhecer que, muitas vezes, existirá uma solução economicamente mais satisfatória do que outra; mas poderá suceder existirem simultaneamente condicionamentos que impeçam a adopção da primeira. Ela será, assim, apenas uma solução teoricamente possível, mas praticamente inexecutável. Adiante trataremos dalguns desses condicionamentos.

A utilização das linhas de alta tensão como suporte de sistemas de comunicação por alta frequência, tem sido aquela de que se tem lançado mão mais vulgarmente. Aí, de facto, as possibilidades de satisfação das necessidades do serviço fixo são elevadas; não, porém, ilimitadas, pela faixa de frequências relativamente restrita possível de utilizar e ainda pelas interferências que podem verificar-se entre sistemas vizinhos, quer do serviço de electricidade quer do serviço público de telecomunicações.

Para isso concorre a relativa imperfeição dos sistemas, especialmente os que utilizam as linhas de transporte, por virtude de dificuldades técnicas a eles inerentes, dando lugar a uma radiação indesejável de valor apreciável.

Neste aspecto pode dizer-se que a indústria portuguesa de electricidade tem sido grandemente beneficiada, por virtude de não existirem em Portugal emissores de radio-difusão em ondas quilométricas.

Por isso, não têm surgido as interferências que tais emissores poderiam produzir nos sistemas de alta frequência,

por virtude da falta de equilíbrio destes, nem tão poucos tais sistemas interferem na recepção da radiodifusão naquelas faixas de frequência, por tal recepção se não efectuar.

O recurso à via radioelétrica, indispensável, como dissemos, para a satisfação das necessidades do serviço móvel, poderia, à primeira vista, ser alargado às comunicações de serviço fixo; isso seria, em muitos casos, altamente tentador sob o aspecto económico.

Porquê, então não recorrer a ele sempre que fosse considerado economicamente conveniente?

A resposta a esta pergunta é extremamente complexa, especialmente quando tenha de ser dada a entidades que não estão dentro dos pormenores que envolvem os vários aspectos das radiocomunicações.

Como, em regra, a resolução dos problemas relativos às radiocomunicações cabe, na maioria dos países, às Administrações que exploram o serviço público de comunicações, em geral em regime de monopólio, a primeira ideia que surge ao serem levantadas dificuldades para a utilização das radiocomunicações, é a de que essas Administrações têm apenas em vista forçar à adopção de soluções que aumentem os seus réditos.

Tal conclusão que as condições prevalentes aparentemente justificam, não corresponde de modo algum à realidade; a posição adoptada tem razões muito mais sérias e mais de acordo com o interesse público quando considerado em toda a sua latitude.

Infelizmente, a faixa de frequências susceptível de ser utilizada em radiocomunicações, embora se tenha alargado nos últimos anos de modo extraordinário, pelo recurso às frequências elevadas, torna-se, cada vez, mais insuficiente para satisfazer as necessidades de todos os serviços. Por outro lado, novas aplicações vão surgindo, que impõem necessidades às quais há que dar, pelo menos, certa satisfação. Cita-se, como exemplo mais recente, o problema dos veículos espaciais, para os quais surge a necessidade de comunicações com a terra, de comunicações entre eles e ainda dos sistemas de telecomando e telemedida. Se, como é de prever, se fizerem progressos sensíveis em tal campo, as necessidades de frequências, que terão de ser satisfeitas na escala mundial, crescerão de modo considerável.

Por outro lado, o desenvolvimento da técnica no domínio das frequências elevadas, exactamente daquelas que pareciam ter um campo de acção local ou estritamente regional, dá como resultado aparentemente paradoxal, que tais frequências são susceptíveis de se interferir a grandes distâncias.

O congestionamento total das faixas de frequências abaixo de 30 Mc/s tem levado a esse desenvolvimento técnico e, paralelamente, a uma ocupação cada vez maior das frequências mais elevadas.

Actualmente, no período de máxima actividade solar é frequente verificar, entre nós, interferências nos serviços que funcionam na faixa de 30 a 40 Mc/s produzidas por estações situadas a milhares de quilómetros.

Algumas empresas de electricidade que utilizam tais frequências queixaram-se dessas interferências, convictas, como estamos certos, de que teriam todo o direito à utilização das frequências que lhes foram atribuídas, sem serem molestadas.

Esse convencimento resulta fundamentalmente do que supomos ser um princípio aceite por essas empresas, embora errado: o de que as frequências que empregam são, por assim dizer, sua propriedade exclusiva e que, portanto, elas e só elas têm direito à sua utilização.

Esta convicção terá até por fundamento a circunstância de, até ao momento presente, ter sido possível atribuir a cada empresa um jogo de frequências diferentes dos das restantes.

Na realidade, porém, tal convicção é errónea; como em todos os casos, quando a uma entidade qualquer é autorizado um serviço privativo de radiocomunicações e, consequentemente, indicado um jogo de frequências em que devem funcionar as suas estações, isso significa apenas que ela *pode* trabalhar nessas frequências, mas nada impedirá que esse mesmo jogo seja autorizado para outra entidade diferente.

Essa hipótese, que virá a verificar-se num futuro talvez não extremamente distante, é consequência do congestionamento do espectro. E não se justificaria, no aspecto do interesse público geral, nem tal hipótese é reconhecida no domínio da regulamentação internacional, que um jogo de frequências fosse ocupado apenas por uma dada entidade, quando a utilização dessas frequências se fizesse, como é o caso, apenas durante uma pequena percentagem do tempo em cada dia.

Haverá, portanto, quando as circunstâncias o impuserem, a fim de satisfazer o maior número possível de necessidades, que atribuir um mesmo jogo de frequências a entidades diferentes, fazendo-se a utilização por partilha no tempo, sempre fácil de realizar por acordo explícito ou implícito das entidades interessadas.

Sendo, como são, cada vez maiores as necessidades dos serviços móveis, na sua generalidade, e não podendo tais serviços ser satisfeitos senão com o recurso à via radioelétrica, terão naturalmente estes que ter prioridade em relação aos serviços fixos.

Não se trata, aqui, de uma política de carácter apenas nacional, baseada em critério mais ou menos discutível. Trata-se, sim, de um princípio imposto pelas realidades e universalmente aceite. E tanto assim é, que o próprio regulamento internacional das radiocomunicações estabelece, com o fim de reduzir as necessidades de frequências e evitar, consequentemente, as interferências, que se utilizem, sempre que seja praticável, outros meios de comunicação que não os radioelétricos.

O mesmo ponto se foca na Convenção das Telecomunicações, elaborada e aprovada por plenipotenciários dos Governos.

Cai-se, portanto, no critério, se assim nos é permitido exprimir, de se ser o mais avaro possível na autorização do recurso à via radioelétrica para serviço fixo. Este deverá ser, em princípio, assegurado por meio de sistemas por linhas ou cabos, e só recorrer excepcional e provisoriamente à via radioelétrica para casos em que não é possível recorrer aqueles.

Tal critério, de carácter universal, como dissemos, é levado nalguns países a tal rigor que, no caso concreto da indústria da electricidade, como noutros, se não considera razão justificativa da excepção o aspecto económico do problema.

Entre nós, sabemos que, para tornear a dificuldade posta pelas autoridades competentes à utilização da via radioelétrica, se chega a estabelecer um serviço móvel de interesse secundário para a empresa, para se aproveitarem as estações de base, isto é, as estações situadas nas centrais, subestações ou até escritórios das empresas, para a realização do serviço fixo.

Será inevitável tender-se para a eliminação de tal serviço pelo menos, e no máximo, quando o congestionamento do espectro o impuser.

Este congestionamento, que se vai acentuando nas frequências da faixa compreendida entre 30 e 160 Mc/s, para falar apenas daquelas que ao caso interessam no momento, e que, dentro de pouco, tomará vulto apreciável, terá reflexos sensíveis nas condições actuais de utilização, agravando-as.

A situação favorável para os utentes, em que se tem vivido entre nós, leva-os a considerar o recurso à via radioelétrica como a solução mais económica (que o é na realidade); isto exactamente porque tem sido possível efectuar ligações de serviço fixo, utilizando as estações de base, nas frequências daquela faixa, para a qual os equipamentos são relativamente baratos e ainda relativamente pequenos os condicionamentos de localização a que a sua própria natureza obriga mesmo para ter um alcance apreciável. Daqui, despesas de primeiro estabelecimento e de exploração reduzidas.

A translação para frequências mais elevadas a que se será obrigado no futuro para as ligações entre pontos fixos, quando admissíveis, imporá novos equipamentos, novos locais, novas formas de trabalho. As despesas de exploração e manutenção subirão apreciavelmente e, então, o recurso à via radioelétrica não será tão apeteçido como presentemente.

De resto, o problema está já posto nalguns países e neles apenas se permite, quando se permite, que as ligações entre pontos fixos sejam feitas em frequências da ordem dos milhares de Mc/s, com todas as incidências económicas que daí resultam.

É de acentuar que este mesmo critério de translação para as frequências mais elevadas nas comunicações entre pontos fixos é inteiramente aplicável às ligações que haja a efectuar entre um ponto de comando (central, subestação, etc.) e um conjunto emissor-receptor instalado em local afastado e destinado a efectuar as comunicações do serviço móvel na faixa de 30 a 160 Mc/s a partir desse ponto de comando. A utilização da via radioelétrica, mesmo para tal caso, deverá, porém, ficar condicionada ao princípio de carácter geral atrás enunciado, de que se deve recorrer, em vez dela e sempre que possível, às ligações por fios, embora, por ventura, mais onerosas.

Como se vê, o problema das radiocomunicações não é de molde a que elas dêem solução que constitua panaceia universal para as comunicações necessárias à exploração dos serviços de electricidade e de tantos outros que delas necessitam e têm interesse público.

A grande dificuldade está em fazer compreender aos que têm um problema particular os condicionamentos a que esse problema tem que ser submetido por motivos que lhes escapam.

#### 4 — Comunicação do serviço móvel

Em regra, qualquer entidade que deseja instalar uma rede de radiocomunicações para serviço móvel, pretende logicamente que tal rede tenha a maior flexibilidade possível. Põe, assim, como premissa fundamental a possibilidade de todas as estações, móveis e de base, comunicarem entre si.

Não se nega que tal dispositivo possa oferecer algumas vantagens; a maleabilidade do sistema é evidente. Mas casos há, na prática, em que um excesso de maleabilidade pode ser prejudicial. E aqui, também, ele pode trazer inconvenientes pela possibilidade que dá de libertar os vários postos da rede da disciplina de um comando central.

Não queremos, porém, insistir no problema, até para que se não diga que qualquer insistência seria motivada pelo desejo de encontrar justificação para o que adiante se diz.

O problema que se põe, em regra, sem excepção, quando surge uma petição para a instalação de uma rede radioelétrica privativa para serviço móvel resulta de as autoridades responsáveis informarem o peticionário de que tal rede não poderá funcionar em uma única frequência, comum à emissão e recepção em todos os postos, móveis e de base, mas sim com duas frequências, uma destinada à emissão dos postos de base (e de recepção nos móveis), outra de emissão dos postos móveis (e de recepção na estação de base).

Deste modo aquela flexibilidade máxima desaparece, visto as estações de base não poderem comunicar entre si, para serviço fixo, nem as estações móveis poderem comunicar também entre si.

A primeira impossibilidade pode levantar-se se para tanto for concedida autorização que, em face do que atrás se disse, deverá ser considerada como excepcional e transitória — se se instalar nas estações de base um segundo receptor destinado à recepção da frequência de emissão das estações de base. A segunda impossibilidade mantém-se, pois não é, em regra, possível a montagem de um segundo receptor nos veículos, nem seria de prever autorização para tal. Consequentemente, as estações móveis só poderão trocar comunicações fazendo intervir o operador da estação de base.

Este critério, que reduz a flexibilidade da rede, pode perfeitamente ser considerado como completa negação do princípio já referido de se reduzir ao mínimo a ocupação de frequências. De facto, é inteiramente lógico pôr a questão por esta forma simplista: se uma rede, com o grau máximo de flexibilidade, necessita de utilizar apenas uma frequência, é incompreensível que, à sombra do princípio de economia de frequências, se reduza essa flexibilidade, mesmo com a junção de mais equipamento, e ainda, por paradoxo, se atribuam duas frequências em vez de uma.

A questão é relevante quando encarada no aspecto do interesse particular de uma qualquer entidade e tem sido posta várias vezes. Sem outras quaisquer considerações, poder-se-ia concluir que se tratava apenas de um critério fundamental errado, posto em prática apenas com o desejo de dificultar a solução dos problemas ou, pelo menos, de um critério que não teria sido suficientemente analisado em todas as suas consequências.

Tentaremos, a seguir, indicar a justificação desse critério que, deve já acrescentar-se, não é adoptado apenas entre nós, antes tem aplicação na maioria dos países ou, melhor dizendo, em todos aqueles em que se põe o problema do congestionamento das faixas internacionalmente atribuídas ao serviço móvel.

Não resistimos a transcrever do livro «The National Planning of Mobile Radiotelephone Services» de J. R. BRINKLEY, o seguinte:

«Since the «double frequency» method uses two frequencies per scheme, it might appear to be wasteful of frequencies but, on the contrary, most of the advantages — including a greater channel availability — lie with the double frequency system.

«The advantages of double frequency working are:

(a) Schemes using the same frequencies can work without interference at much closer geographical spacing.

(b) In any one area blocking, cross-modulation and intermodulation interfering problems, which are often insoluble with a single frequency allocation, are minimal when double-frequency allocation is used.

(c) Duplex is possible only with double-frequency allocation».

Este enunciado mostra as vantagens do sistema de funcionamento a duas frequências quando encarado o problema no seu conjunto;

A vantagem indicada na alínea a) significa que, com uma mesma faixa de frequência, é possível uma densidade maior de estações no funcionamento a duas frequências que no funcionamento a uma frequência, isto é, que para aquele se faz um muito maior aproveitamento do espectro, e, portanto, se pode satisfazer um muito maior número de necessidades.

Para mostrar, em termos muito gerais, que assim é, tomemos o caso mais simples da existência de estações apenas em pontos fixos determinados.

É evidente que o número de necessidades a satisfazer cresce com o volume dos aglomerados populacionais, volume esse que é função do desenvolvimento comercial e industrial do local. Consequentemente, teremos de raciocinar partindo da premissa de que as estações situadas em pontos fixos determinados se localizam as de um extremo, numa dada zona que constituirá um centro populacional e seus arredores imediatos e as do outro extremo se espalham por zonas vizinhas.

Para que duas estações se não interfiram é necessário que as frequências respectivas de funcionamento se encontrem separadas entre si de um valor que é função dos afastamentos geográficos do local de recepção às estações desejada e não desejada.

Assim, se esse local de recepção, que, no caso considerado, é também um local de emissão da rede respectiva, estiver a alguns centos de quilómetros da estação não desejada (referimo-nos apenas ao caso das ondas métricas por ser aquele que interessa ao problema em causa) ou, melhor, se a relação das intensidades de campo das duas estações, desejada e não desejada, no local de recepção, toma valor superior a 2, as duas estações poderão funcionar na mesma frequência sem se interferirem; o afastamento de frequências poderá, pois, ser nulo.

Tomemos agora o caso de, num mesmo edifício, existirem dois sistemas radioeléctricos diferentes. Nesse caso, para que seja possível a recepção num sistema quando o emissor local do outro esteja em funcionamento, a separação mínima necessária das duas frequências sobe a valores da ordem dos 4 Mc/s.

Vê-se, pois, que, se as estações de cada sistema funcionarem numa frequência comum, o valor do afastamento da frequência dos vários sistemas deverá variar entre zero e 4 Mc/s, consoante eles se encontram muito afastados ou na imediata vizinhança uns dos outros.

O valor do afastamento das frequências varia sensivelmente na razão inversa da distância. Deste modo, se o afastamento geográfico entre estações for pequeno, haverá que adoptar um grande afastamento entre frequências, para que não haja interferências. Se se pretende reduzir o afastamento entre frequências com o objectivo de aumentar o grau de ocupação do espectro, haverá que distanciar as estações umas das outras.

Em qualquer dos casos, como se vê, nada se acrescenta quanto à real satisfação de necessidades, pois se é levado à conclusão de que o número de estações que podem funcionar numa dada área sem interferências mútuas é praticamente constante para equipamentos de dadas características.

Consideremos, em seguida, o caso de as estações de um extremo, isto é, as estações emissoras dos vários sistemas que se situam numa mesma localidade, funcionarem em frequências diferentes das estações emissoras suas correspondentes que se situam fora dessa localidade. Por outras

palavras, consideremos o caso de as frequências de emissão dos sistemas numa dada localidade serem diferentes das frequências de recepção respectivas na mesma localidade.

Então, estamos, na recepção, em face de intensidades de campo relativamente reduzidas. Não surgem assim problemas de não linearidade dos receptores desde que as frequências de recepção estejam afastadas de alguns mega-ciclos por segundo das frequências de emissão usadas nessa localidade.

Deste modo, na recepção é possível separar, sem dificuldade, devido às características dos receptores, emissões afastadas entre si de algumas dezenas de quilo-ciclos por segundo.

Daqui se conclui que se poderão fazer funcionar todas as estações de emissão fora da localidade, e também as da própria localidade, em frequências afastadas entre si de algumas dezenas poucas de quilo-ciclos por segundo, desde que o conjunto das frequências de um dos grupos esteja distanciado do conjunto de frequências do outro grupo de alguns mega-ciclos por segundo.

Este valor, que, como vimos, deve ser da ordem de 4 Mc/s quando a emissão e a recepção se situam num mesmo local, pode baixar, com segurança, a cerca de 1,5 Mc/s para uma dada localidade quando se tem em conta o afastamento geográfico entre os centros radioeléctricos existentes nessa mesma localidade.

Deste modo, se, para um dado circuito, se atribuir uma frequência de emissão e outra de recepção, numa localidade, separadas de 4,5 Mc/s, será possível estabelecer-se a comunicação nesse circuito em «duplex», isto é, sem necessidade de interromper a emissão para se efectuar a recepção.

Por outro lado, e pelo que vimos, será possível agrupar as frequências de emissão numa dada localidade de modo que a separação entre elas seja, por exemplo, de 100 kc/s, o mesmo se fazendo para as frequências de recepção nessa localidade. Os dois grupos de frequências deverão ficar distanciadados entre si de cerca de 1,5 Mc/s, mas de modo que a frequência de emissão de um sistema e a frequência de recepção respectiva estejam distanciadadas entre si de 4,5 Mc/s.

Aquele valor de 100 kc/s é extremamente elevado. Tomamo-lo, porém, assim para mostrar, com toda a segurança, a diferença do grau de ocupação do espectro nos dois casos: funcionamento a uma frequência e a duas frequências.

Consideremos, como exemplo, a faixa de 100 a 108 Mc/s.

No caso do funcionamento de cada sistema a uma só frequência, não seria possível, na melhor das hipóteses, (caso do afastamento entre frequências de 1,5 Mc/s, por se ter em conta o afastamento geográfico das várias estações na localidade) ter um número de estações nessa localidade superior a 6.

Se considerarmos o caso do funcionamento a duas frequências, com as hipóteses postas, poder-se-ia, por exemplo, adoptar o seguinte plano de frequências para as estações de uma mesma localidade:

N.º do canal	Frequências (Mc/s)	
	de emissão	de recepção
1	100,050	104,850
2	100,150	104,950
..	..	..
..	..	..
11	101,050	105,850
..	..	..
..	..	..
81	108,050	107,850
12	108,150	107,950

Com o afastamento de 100 kc/s, tornado propositadamente exagerado, vê-se que em vez de 6 estações numa dada localidade que o funcionamento a uma frequência permitia, é agora possível, no funcionamento a duas frequências, alojar 32 estações.

O grau de ocupação possível do espectro vê-se, assim pelo menos, quintuplicado.

Na prática, e para as potências normalmente utilizadas, é possível reduzir aquele afastamento a 50 kc/s, o que se traduz, portanto, numa decuplicação do grau de ocupação possível do espectro em relação ao funcionamento a uma só frequência.

Por outro lado ainda, torna-se possível dividir o território em 3 zonas de molde a utilizar, em zonas adjacentes, frequências espaçadas de apenas 25 kc/s, o que dá, no conjunto, uma quase duplicação das possibilidades.

Deve notar-se, que, no exemplo dado, não é utilizada a faixa compreendida entre 103,150 e 104,850 Mc/s. Esta faixa, porém, não fica desaproveitada. Nela se fazem funcionar, a uma só frequência, estações portáteis de muito pequena potência, as quais, por esta sua característica, têm alcance reduzidíssimo e são, portanto, praticamente insusceptíveis de provocar interferências nas outras estações ou mesmo entre si.

Quando, em vez de estações fixas, se consideram as estações de redes do serviço móvel terrestre, isto é, as estações de base e as estações móveis, o problema complica-se, exactamente por virtude da mobilidade destas últimas.

Façamos, no intuito de melhor esclarecer o assunto, a comparação entre o funcionamento de um conjunto de redes nos dois casos de funcionamento, a uma e duas frequências, utilizando separações de frequências análogas. Por outras palavras, admitamos que, no funcionamento a duas frequências, se seguia o plano de atribuição de frequências indicado anteriormente a título de exemplo e que, no funcionamento a uma frequência, se admitiam separações de 100 kc/s. Isto com o objectivo de permitir alojar no funcionamento a uma frequência número análogo de sistemas ao que permite o funcionamento a duas frequências.

Então, numa mesma localidade e para o funcionamento a uma frequência, verificar-se-iam interferências de umas estações de base sobre outras estações de base, isto é, seria prejudicada a recepção das estações móveis dos grupos de redes que funcionassem em frequências adjacentes às de uma qualquer estação de base, sempre que esta entrasse em serviço. No funcionamento a duas frequências, a recepção das estações móveis nas estações de base, de importância fundamental para a execução do serviço não sofreria a mais pequena interferência das outras estações de base da mesma localidade.

Se as estações de base devessem, por excepção, comunicar entre si, então o problema de interferências seria inteiramente análogo no funcionamento a uma ou a duas frequências, se essas estações se situassem na mesma localidade. Este aspecto, porém, não tem qualquer importância prática, dado que nada justificará, nem será admitida, a comunicação entre si de estações de base de uma mesma localidade. Tais comunicações, se necessárias, poderão e deverão ser sempre efectuadas recorrendo à telefonia por fios.

Nas eventuais comunicações entre estações de base de localidades diferentes, as quais se devem considerar, no aspecto geral das radiocomunicações, como excepcionais, a recepção da estação de base longínqua será interferida pelas estações de base locais que funcionem nas frequências

adjacentes, de modo inteiramente análogo nos dois tipos de funcionamento: a uma ou duas frequências.

A recepção das estações de base nas estações móveis, outro aspecto fundamental, para a execução do serviço, só poderá eventualmente ser prejudicada, no caso do funcionamento a duas frequências, quando a estação móvel se colocar na imediata vizinhança de outras estações de base que funcionem em canais adjacentes ao da estação de base desejada. Este caso, facilmente notado na estação móvel, permitirá a esta deslocar-se para ponto um pouco mais afastado, tornando então possível a comunicação. A situação será idêntica no funcionamento a uma frequência.

Analogamente se passa para o caso das interferências produzidas pelas emissões das estações móveis nas estações de base.

Em qualquer dos dois casos anteriores, se tivermos em conta o afastamento geográfico que sempre que se verifica entre as estações móveis e as estações de base respectivas, bem como o afastamento entre estações de base, a probabilidade de interferências, possíveis nos dois tipos de funcionamento, será, porém, menor no funcionamento a duas frequências.

Tais interferências são, assim, de carácter accidental, com uma probabilidade que resulta da maior ou menor aproximação das estações móveis de um sistema em relação às estações do outro sistema e podem, em geral, ser eliminadas por um cuidado na exploração por parte dos utentes.

No que se refere às interferências entre estações móveis, isto é, entre a emissão de uma estação móvel de uma dada rede e a recepção numa estação móvel de outra rede, o funcionamento a duas frequências não origina qualquer dificuldade, dado o afastamento entre as duas frequências em causa. No funcionamento a uma frequência, porém, sempre que uma estação móvel se aproximasse de uma estação móvel ou de uma estação de base funcionando em canais adjacentes, a recepção seria imediatamente interferida.

Do que fica dito ter-se-á que concluir pelas vantagens que o funcionamento a duas frequências oferece em relação ao funcionamento a uma frequência, do ponto de vista de possibilidade de satisfação de necessidades num espectro cada vez mais congestionado.

Tem aquele modo de funcionamento alguns inconvenientes, especialmente de carácter económico, em relação ao funcionamento a uma frequência, quando se pretende uma maior flexibilidade da instalação. É indiscutível esse aspecto, mas ele representa o preço que há a pagar para que seja possível satisfazer as necessidades crescentes da colectividade.

Cremos assim explicado um aspecto que julgamos ter até ao presente merecido alguns comentários por parte dos interessados, dando simultaneamente uma ideia dos problemas que se levantam na utilização das radiocomunicações.

Desejamos apenas que estas ligeiras notas, escritas muito rapidamente com o desejo de ser agradável à Direcção da «Electricidade», possam contribuir para esclarecer certos aspectos, e, simultaneamente, para dar indicações sobre a evolução que, com todas as probabilidades, terá de se verificar nas comunicações indispensáveis ao regular funcionamento das indústrias em causa.

MANUEL AMARO VIEIRA

Engenheiro electrotécnico (I. S. T.)

DIRECTOR DOS SERVIÇOS RADIOELÉCTRICOS DOS CTT

## RESISTÊNCIA DOS TRANSFORMADORES AO CHOQUE TÉRMICO DE CURTO-CIRCUITO

O desencadeamento súbito e brutal da corrente de curto-circuito dum transformador provoca, além do choque mecânico, um autêntico choque térmico sobre os enrolamentos. Limitada somente pela impedância interna da máquina, a corrente de curto-circuito adquire um valor temível. A temperatura dos condutores sobe vertiginosamente. E se o curto-circuito não é logo suprimido ou o transformador desligado pelos aparelhos de protecção, — o calor desenvolvido queima os isolantes com a violência dum termo-cautério.

As protecções dos transformadores são, muitas vezes, comandadas pelos relés de máxima retardados, exigidos pela selectividade. As intensidades de curto-circuito podem, nesse caso, manter-se durante alguns segundos. A segurança do serviço exige em consequência que se adoptem certas precauções construtivas, para evitar que a corrente de curto-circuito, aplicada durante um certo tempo  $\tau$ , provoque o aquecimento dos condutores acima dum limite bem definido, suportável para o transformador.

Algumas Normas de fabrico fazem-se eco desta preocupação. As NEMA STANDARDS FOR TRANSFORMERS, por exemplo, impõem no seu Art. TRI — 2013 que a temperatura dos enrolamentos de transformadores em banho de óleo não ultrapasse 250 °C no fim dum ensaio de curto-circuito simétrico, cuja duração vai indicada no quadro seguinte:

Tensão de curto-circuito	Duração do curto-circuito
4% ou inferior	2 segundos
5%	3 segundos
6%	4 segundos
7% ou superior	5 segundos

A mesma temperatura é geralmente adoptada nas Normas doutros países, se bem que as durações do curto-circuito sejam por vezes diferentes das recomendadas pela NEMA.

Em que medida pode o choque térmico afectar o cálculo dos enrolamentos dos transformadores?

Do ponto de vista térmico, podemos admitir sem erro apreciável que durante a eclosão do curto-circuito não há intercâmbio calorífico entre o condutor e o óleo. Por outras palavras, toda a energia térmica fica armazenada no condutor e condiciona, integralmente, a sua elevação de temperatura. Se designarmos por  $\theta_i$  a temperatura média do enrolamento no início do curto-circuito e por  $\theta_f$  a temperatura final, o

$$\int_{\theta_i}^{\theta_f} \mu l S c d\theta$$

mede a quantidade de calor absorvida durante o curto-circuito. Neste integral,

$\mu$  representa a massa específica do material condutor,  
 $c$  o seu calor específico,  
 $d\theta$  o acréscimo elementar de temperatura  
 $lS$  o volume do condutor, produto do comprimento total  $l$  pela secção  $S$ .

Todas estas grandezas se consideram medidas em unidades do sistema Giorgi.

O calor armazenado no enrolamento provém das perdas Joule criadas pela corrente de curto-circuito. Designemos por:

$\rho$  a resistividade do material condutor,  
 $i_{cc}$  o valor instantâneo da corrente de curto-circuito,  
 $dt$  o acréscimo elementar de tempo  
 $\tau$  a duração do curto-circuito.

A quantidade de calor gerada pelas perdas óhmicas tem como expressão:

$$\int_0^{\tau} \frac{\rho l}{S} i_{cc}^2 dt$$

Mas a passagem de correntes eléctricas nos enrolamentos de transformadores não origina somente perdas óhmicas. Em toda a massa metálica imersa no campo de dispersão dos enrolamentos se desenvolvem, por efeito Foucault, apreciáveis perdas suplementares, que se adicionam às perdas puramente óhmicas. Estas perdas parasitas são geradas nas tampas e nas paredes das cubas, mas sobretudo no próprio metal do enrolamento. Admitiremos neste estudo que elas se concentram exclusivamente nos condutores, como aliás sucede em transformadores bem construídos.

É usual exprimir as perdas suplementares em percentagem das perdas óhmicas puras, isto é, das perdas fixadas pelo valor das resistências em corrente contínua. Designemos por  $\epsilon$  o cociente entre as primeiras e as segundas. A quantidade de calor gerada nos condutores deixa então de ser medida pelo integral anterior, mas mais completamente por:

$$\int_0^{\tau} (1 + \epsilon) \frac{\rho l}{S} i_{cc}^2 dt$$

Como a quantidade de calor gerado iguala a quantidade de calor absorvido, teremos:

$$\int_0^{\tau} (1 + \epsilon) \frac{\rho l}{S} i_{cc}^2 dt = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \mu l c S d\theta$$

Calculemos estes integrais.

Toda a gente sabe que a resistividade varia com a temperatura. Para o cobre, por exemplo, se à temperatura  $\theta_o$  a resistividade é  $\rho_o$ , à temperatura  $\theta$  ela é:

$$\rho = \rho_o \frac{234,5 + \theta}{234,5 + \theta_o}$$

As perdas suplementares também variam com a temperatura. De facto, as correntes de Foucault são produzidas por forças electromotrizes, induzidas nas massas metálicas pelo fluxo alternado de dispersão. Quanto maior for a temperatura mais reduzidas aparecem as correntes de circulação, porque a resistividade dos meios condutores se torna mais elevada. Por consequência, as perdas suplementares reduzem-se à medida que a temperatura aumenta.

Se à temperatura  $\theta_o$  as perdas suplementares no cobre dos enrolamentos forem a fracção  $\epsilon_o$  das perdas óhmicas medidas à mesma temperatura, para outra temperatura  $\theta$  ter-se-á:

$$\epsilon = \epsilon_o \left( \frac{234,5 + \theta_o}{234,5 + \theta} \right)^2$$

Introduzindo as expressões de  $\rho$  e  $\epsilon$  na igualdade entre os integrais a calcular, representando por  $I_{cc}$  o valor médio da corrente eficaz de curto-circuito durante o intervalo de tempo  $\tau$  e por  $\text{Log}$  o logaritmo neperiano, da integração resulta:

$$I_{cc}^2 \tau = \frac{234,5 + \theta_o}{2 \rho_o} \mu c S^2 \text{Log} \frac{(234,5 + \theta_f)^2 + \epsilon_o (234,5 + \theta_o)^2}{(234,5 + \theta_i)^2 + \epsilon_o (234,5 + \theta_o)^2}$$

Tomemos:

$$\sigma = \frac{234,5 + \theta_o}{2 \rho_o} \mu c \text{Log} \frac{(234,5 + \theta_f)^2 + \epsilon_o (234,5 + \theta_o)^2}{(234,5 + \theta_i)^2 + \epsilon_o (234,5 + \theta_o)^2}$$

Então virá:

$$I_{cc}^2 \tau = S^2 \sigma$$

O parâmetro  $\sigma$  é uma característica do enrolamento, que mede a aptidão térmica do transformador a suportar curto-circuitos prolongados. Efectivamente, para dada secção do condutor e dada corrente  $I_{cc}$ , a duração do curto-circuito pode ser tanto maior quanto maior for  $\sigma$ . O parâmetro  $\sigma$  representa o que poderá chamar-se a *resistência específica do enrolamento ao choque térmico*. Este conceito transporta para os enrolamentos a noção de resistência térmica específica dos condutores, introduzida recentemente na literatura técnica por H. SCHMITZ (*Thermische Beanspruchung und Festigkeit elektrischer Leiter für Schaltanlagen*, revista ETZ, edição A, n.º 16, 1958).

Calculemos o seu valor particular  $\sigma_o$  correspondente às mais desfavoráveis condições, a saber:

$\theta_i = \theta_n$  — temperatura máxima admissível em regime contínuo, dada pelas Normas dos transformadores (no que segue tomaremos  $\theta_n = 90^\circ\text{C}$ )

$\theta_f = \theta_m$  — temperatura limite admissível em regime transitório de curto-circuito ( $\theta_m = 250^\circ\text{C}$ ).

Os restantes parâmetros têm para o cobre os seguintes valores:

$\rho = 0,0175 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$ , à temperatura  $\theta_o = 20^\circ\text{C}$

$\mu = 8900 \text{ kg/m}^3$

$c = 0,094 \cdot 4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .

A fig. 1 representa a variação da resistência térmica  $\sigma_o$  em função das perdas suplementares correntes.

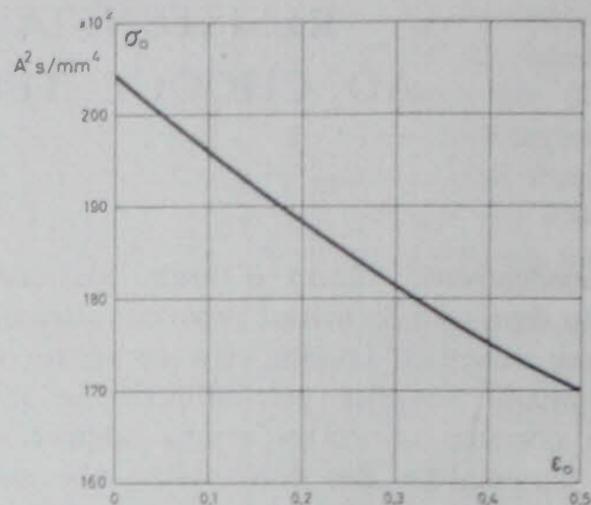


Fig. 1

Como  $\sigma_o$  corresponde às mais desfavoráveis circunstâncias, podemos garantir *a priori* que jamais se atingirão  $250^\circ\text{C}$  no fim dum curto-circuito sempre que se observe a desigualdade:

$$I_{cc}^2 \tau < S^2 \sigma_o$$

O cociente  $I_{cc}/S$  é por definição a densidade  $\delta_{cc}$  da corrente de curto-circuito; a inequação anterior equivale portanto à seguinte:

$$\delta_{cc}^2 \tau < \sigma_o$$

A componente contínua da corrente de curto-circuito dum transformador sofre um amortecimento tão forte que, para durações de 2 ou mais segundos, o valor eficaz  $I_{cc}$  não é praticamente afectado por ela.  $I_{cc}$  pode considerar-se, em primeira aproximação, igual ao valor eficaz da componente sinusoidal permanente. Se  $v_{cc}$  representar a tensão de curto-circuito em % e  $I_n$  o valor eficaz da corrente nominal do transformador, teremos por isso:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{v_{cc}} \cdot 100$$

A inequação anterior equivale então à seguinte:

$$\delta < \frac{v_{cc}}{100} \sqrt{\frac{\sigma_o}{\tau}}$$

com  $\delta$  designando a densidade nominal do enrolamento em estudo.

Indicam-se na fig. 2 os limites máximos de  $\delta$  em função das tensões de curto-circuito de transformadores projectados em obediência às Normas da NEMA.

Existe, como se vê, um *plafond* de densidades em regime nominal. Se bem que as densidades praticadas em transformadores industriais (2,5 a 3,5 A/mm<sup>2</sup>) estejam situadas a nível inferior, a diferença não é tão considerável que prescindam em certos casos particulares dum estudo

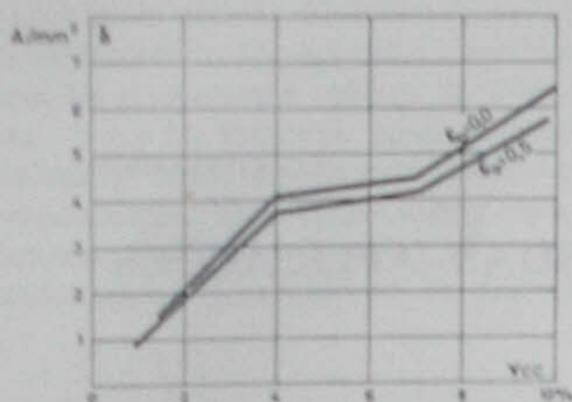


Fig. 2

cuidadoso. Isto revela claramente que o projecto dum transformador não pode descurar a incidência térmica dos curto-circuitos.

As conclusões sintetizadas na fig. 2 são, como vimos, válidas no caso da temperatura limite aceitável para o cobre se fixar em 250 °C. Mas nem todos os utilizadores de material eléctrico sancionam esse valor, alguns consideram-no exagerado. É claro que se a temperatura de choque admitida for por exemplo 200 °C (como tem sido defendido), a resistência térmica específica dos enrolamentos sofre apreciável redução. O *plafond* das densidades nominais máximas admissíveis, mesmo na zona das tensões de curto-circuito compreendidas entre 4 e 7%, cai ao nível das densidades habituais e o transformador tem de ser calculado com redobrada atenção, para satisfazer a este imperativo suplementar.

FRANKLIN GUERRA PEREIRA  
Engenheiro electrotécnico (U. P.)

CHEFE DE SERVIÇO DA EMPRESA FABRIL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

## APRECIACÃO DE LIVROS

W. S. WOOD, B. Sc., A. M. I. E. E. — *Theory of Electrical Machines* — Butterworths publications, London, 1958. 317 págs. e 141 figs..

A apreciação deste livro está contida, com perfeita justeza, na frase com que o seu autor abre o prefácio da obra: «É intenção deste livro fornecer um texto completo de máquinas eléctricas, adequado aos alunos do último ano do curso de Engenharia Electrotécnica».

Deve acrescentar-se que o Autor consegue atingir, com felicidade, o fim que se tinha proposto, mercê certamente da posição que ocupa no «Royal College of Science and Technology», de Glasgow, onde ensina Máquinas Eléctricas. Pode desta forma viver o ambiente indispensável para se escrever um livro desta natureza, por estar em contacto com os alunos de Engenharia Electrotécnica e sentir assim os problemas que se devem sublinhar e salientar e como devem ser focados, dentro da cadeira de Máquinas Eléctricas, aos alunos finalistas do curso de Electrotecnia.

O livro não é, pois, para leigos na especialidade de que se ocupa; muito pelo contrário, só pode ser utilizado com proveito por aqueles que tenham conhecimentos bastante desenvolvidos de máquinas eléctricas, como aliás o Autor adverte logo no início. Pressupõe leitores já familiarizados com os métodos convencionais de estudo e os seus correspondentes esquemas equivalentes e diagramas vectoriais, de molde a poderem tratar os diversos assuntos genericamente, recorrendo a esses princípios básicos sem qualquer introdução ou explicação prévia. Admite igualmente assimiladas as noções básicas de construção e execução das máquinas eléctricas, de molde a poder dispensar-se de qualquer referência pormenorizada a tal respeito.

Nos três primeiros capítulos, que o Autor designa por introdução à obra, estuda a produção da f. e. m., o correspondente enrolamento e os fenómenos fundamentais associados, como sejam, reacção do induzido, dispersão, binários, etc., sem se referir a nenhum tipo específico de máquina, nomeadamente se esta é de corrente contínua ou de corrente alternada. Ao contrário do sistema clássico, que inicia o estudo pelas máquinas de corrente contínua, estas só são tratadas no fim, depois de completamente estudadas as máquinas de corrente alternada com colector. A solução

justifica-se por a acção rectificadora do colector, que empregamos nas máquinas de corrente contínua, não ser mais do que um caso particular da função alteradora de frequência que se tem de associar ao colector, quando o encararmos em toda a sua generalidade.

As máquinas de corrente contínua só dedica o último capítulo, onde elas são estudadas sucintamente; a leitura deste capítulo exige, como atrás se frizou, conhecimentos relativamente desenvolvidos para poder ser compreendido sem esforço. Justifica-se esta maneira de proceder, por se poder considerar as máquinas de corrente contínua como um caso particular das máquinas com colector e, além disso, terem uma importância relativamente menor do que as de corrente alternada.

Nos quatro capítulos intermédios — os 4.º, 5.º, 6.º e 7.º — trata sucessivamente, e por esta ordem, os transformadores, as máquinas síncronas, as máquinas assíncronas e as de colector; esta sucessão justifica-se por si mesmo, em face da ordem por que hoje é clássico tratar as máquinas eléctricas.

Para conseguir tocar em todos estes problemas, nas trezentas páginas do livro, é necessário salientar os mais importantes e fazer o seu estudo supondo os princípios básicos conhecidos. A forma como o Autor os aborda deve ser posta em relevo por ser, de uma forma geral, sugestiva e feliz. O livro quanto a nós vale, principalmente, por esta sua faceta: permitir rever os problemas estudados ao modo habitual, encarando-os de outra forma, em geral mais simples, integrando-os num conjunto de problemas afins, que podem ser estudados simultaneamente com vantagem.

O livro constitui, pois, por assim dizer, um índice dos principais problemas das máquinas eléctricas, tratados resumidamente e de molde a dar uma visão de conjunto, que permite aferir conhecimentos e respigar algumas soluções úteis e de incluir nos cursos de máquinas eléctricas.

A terminar o livro inclui dois apêndices, onde se refere resumidamente, em três ou quatro páginas para cada um, os elementos básicos do cálculo das máquinas e do seu aquecimento; fecha por uma colecção de problemas, bem ordenados, referentes aos vários capítulos e as respectivas soluções.

A. F. W. C.