Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Elétrica

Implementação e construção de uma bancada para testes térmicos de dispositivos semicondutores de potência.

Autor:

Thiago Americano do Brasil

Orientador:

Prof. Maurício Aredes, Dr.-Ing.

Examinador:

Prof. Rubens de Andrade Junior, D.Sc.

Examinador:

Mauro Sandro dos Reis, Eng.

DEE

Novembro de 2010

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por me dar forças, saúde e vontade necessários para completar este difícil curso de graduação.

Agradeço também a minha família (meus pais e minha avó) que desde o começo sempre confiaram em mim, me dando coragem para continuar, quando os momentos eram difíceis. O maior presente que Deus meu deu foi a minha família.

Por mais que estes não possam ler, agradeço aos meus cães (Snoopy e Bucky) pelos vários momentos de descontração que tivemos. Só quem tem um animal de estimação sabe o que é amar algo diferente.

A minha namorada Gabriela, que sabe me ouvir e me faz uma pessoa melhor. Além disto, é umas das poucas que não se cansava de ouvir minhas lamúrias sobre o cansaço desenvolvido ao longo deste trabalho.

A todos os amigos que conheci no LEMT, mais precisamente: Vitor Lemos Maia, Eduardo Leandro de Souza, Leandro Santos Nogueira e Bruno França.

A minha eterna amiga Liana Nogueira Levy, que muito me ajudou durante praticamente 80% do curso de Engenharia Elétrica. Não tenho como agradecer tamanha ajuda.

Aos meus colegas de trabalho do LEMT e também grandes amigos Mauro Reis e Daniel Mendes. Saiba que sou muito grato por todos os momentos em que me auxiliaram, mesmo quando pareciam estar ocupados com outros afazeres. Vocês são pessoas incríveis!

A minha grande colega de trabalho Rita Cavaliere pelos sábios conselhos sobre a escrita e diagramação deste trabalho e por nossos papos bem descontraídos.

Ao técnico José Fábio por todo o apoio técnico de bancada. Este trabalho não teria sido realizado sem a sua ajuda.

Ao meu orientador Maurício Aredes pela amizade e pelo suporte financeiro.

Resumo

Dispositivos semicondutores de potência são largamente utilizados em projeto de sistema de energia. Seja em retificadores, inversores ou reguladores de tensão, diodos e tiristores funcionam sobre grandes ciclos de trabalho e variações bruscas de temperatura.

Escolhas errôneas de soluções de resfriamento, bem como intempéries proporcionadas pelo ambiente em que se encontram, podem fazer com que dissipem menos energia térmica do que precisam, ocasionando a sua destruição.

Este trabalho apresenta a proposta da construção de uma bancada de modo a simular um ambiente controlado, de forma que se possa verificar a impedância térmica do grupo tiristor/dissipador perante as condições simuladas.

O projeto faz parte de estudos térmicos necessários para a viabilização da implementação de um Regulador de Tensão com Comutação Eletrônica de Taps (RECET) em Média Tensão (13,8 kV).

Sumário

1. Introdução	1
1.1. RECET	2
1.1.1. Descrição geral do circuito de potência	2
2. Análise Termodinâmica	7
2.1. Cálculo da potência dissipada	
2.2. Diodos	
2.3. Tiristores	
2.4. Transistores	
2.5. Mecanismos atuantes em um dissipador de calor	
2.5.1. Dissipação por Convecção	
2.5.2. Dissipação por Radiação	
2.6. Comportamento em regime permanente: Potência média	
2.6.1 Dissipador de calor	
2.7. Comportamento em regime transitório: Potência de pico	22
2.8. Cálculo dos dissipadores	24
3. Componentes semicondutores de potência	27
3.1. Introdução a física dos semicondutores	27
3.1.1. Os portadores: elétrons e lacunas	27
3.1.2. Semicondutores dopados	
3.1.3. Recombinação	
3.1.4. Correntes de deriva e de difusão	
3.2. Diodos de potência	
3.3. Tiristor	
3.3.1. Princípio de funcionamento	
3.3.2. Disparo dos tiristores	
3.3.3. Circuitos de excitação de gate	
3.3.4. Snubbers	
3.3.5. Associação série de tiristores	
3.3.6. Resfriamento	
4. Bancada Térmica	
4.1. Aparato Experimental	
4.2. Recipiente	
4.2.1. Simulação de um ambiente controlado	

4.2.2. Disparo do tiristor principal	50
4.3. Instrumentação	51
4.3.1. Sensor de temperatura	51
4.3.2. Condicionamento de Sinal	52
4.3.3. Driver para controle do tiristor auxiliar	55
4.3.4. Data logger	58
4.4. PIC18F4550	59
4.4.1. Placa de suporte	60
4.4.2. Código embarcado	60
4.5. Resultados	61
5. Conclusão	64
Bibliografia	65
Anexo	66
Código embarcado no microcontrolador	66
Tabela com os dados obtidos	71
	 4.2.2. Disparo do tiristor principal 4.3. Instrumentação 4.3.1. Sensor de temperatura 4.3.2. Condicionamento de Sinal 4.3.3. Driver para controle do tiristor auxiliar 4.3.4. Data logger 4.4. PIC18F4550 4.4.1. Placa de suporte 4.4.2. Código embarcado 4.5. Resultados 5. Conclusão Bibliografia Anexo Código embarcado no microcontrolador Tabela com os dados obtidos

Índice de Figuras

Figura 1 – Arranjo adotado para a composição de uma célula do circuito de potência	3
Figura 2 – Visão Geral do RECET	3
Figura 3 – Topologia para o comutador eletrônico do RECET	5
Figura 4 – Lógicas de compensação – 17 degraus (a) e +10 degraus (b)	6
Figura 5 – Exemplo de sinais de tensão, corrente e potência para cálculo de potência média	
dissipada	9
Figura 6 – Tensão, potência e corrente em um diodo de uma ponte retificadora trifásica com	
filtro capacitivo	. 13
Figura 7 – Formas de ondas típicas de um diodo rápido	. 14
Figura 8 – Formas de onda típicas de potência em um transistor utilizado em fonte chaveada	
com carga indutiva	. 15
Figura 9 – Variação relativa de Rtda com ventilação forçada.	. 19
Figura 10 – Equivalente elétrico para circuito térmico em regime permanente (incluindo	
dissipador)	. 20
Figura 11 – Curvas típicas de impedância térmica para picos de potência.	. 23
Figura 12 – Normalização do pulso de potência.	. 23
Figura 13 – Estrutura cristalina de material semicondutor	. 27
Figura 14 – Movimento de elétrons e lacunas em semicondutor	. 28
Figura 15 – Semicondutores dopados.	. 29
Figura 16 – Estrutura básica de um diodo semicondutor	. 31
Figura 17 – Estrutura de um diodo de potência e suas formas de onda típicas de comutação	. 34
Figura 18 – Funcionamento básico do tiristor e seu símbolo	. 35
Figura 19 – Analogia entre tiristor e transistores bipolares	. 36
Figura 20 – Característica estática do tiristor	. 37
Figura 21 – Condições de disparo de tiristor através de controle pelo gate	. 38
Figura 22 – Controlador de tensão CA com carga RL e formas de onda típicas.	. 40
Figura 23 – Circuito e formas de onda de comutação por ressonância de carga	. 41
Figura 24 – Topologia com comutação forçada de tiristor e formas de onda típicas	. 42
Figura 25 – Detalhes das formas de onda durante a comutação	. 42
Figura 26 – Circuitos snubber para dv/dt	. 44
Figura 27 – Tensões em associação de tiristores sem rede de equalização	. 45
Figura 28 – Circuito de equalização de tensão em associação série de tiristores	. 46
Figura 29 – Esquemático da bancada térmica.	. 48
Figura 30 – Caixa de madeira coberta com espuma de poliuretano	. 49
Figura 31 – Módulo de tiristores SKKT 162	. 51
Figura 32 – Carga resistiva utilizada para recriar as condições nominais de corrente	. 51
Figura 33 – Configuração utilizada pelo sensor LM35	. 52
Figura 34 – Vista bottom do LM35.	. 52
Figura 35 – Filtro diferencial.	. 54
Figura 36 – Amplificador inversor	. 54
Figura 37 – Circuito de proteção do A/D.	. 55
Figura 38 – Carga resistiva interna a caixa.	. 56
Figura 39 – Módulo de tiristores auxiliar	. 56

Figura 40 – Hex Buffer SN7407 e optoacoplador 4N25	57
Figura 41 – Diagrama de pinos e lógica do ULN2803	57
Figura 42 – Esquemático do ULN2803	58
Figura 43 – TD-890 da Icel Manaus.	59
Figura 44 – Diagrama de pinos do PIC18F4550	59
Figura 45 – Placa de suporte do PIC18F4550	60
Figura 46 – Fluxograma do código embarcado	61
Figura 47 – Gráfico da variação de temperatura no dissipador para Ta = 30°C	62
Figura 48 – Circuito RC simbolizando a impedância térmica do grupo tiristor/dissipador	63
Figura 49 – Tensão no capacitor utilizando-se o modelo da Figura 48	63

1. Introdução

O primeiro objetivo do controle de tensão do sistema de distribuição é fazer com que cada consumidor disponha de tensão dentro dos limites adequados as suas necessidades. Os equipamentos dos consumidores são projetados para admitir certa variação de tensão em torno de sua faixa considerada como nominal, sem que a operação dos mesmos sofra algum prejuízo, ou mesmo comprometimento de suas vias úteis. A variação de tensão de suprimento dos consumidores logicamente dependerá da situação operacional do sistema de distribuição, considerando a localização do consumidor no sistema da concessionária.

O foco desta pesquisa é estudar a questão térmica referente às chaves semicondutoras utilizadas em um regulador de tensão com comutação eletrônica de *taps* (RECET), sendo este um equipamento destinado a manter a tensão da rede de distribuição dentro dos limites operacionais.

O objetivo desta pesquisa é determinar de forma experimental a capacidade de transferência térmica do grupo tiristor/dissipador quando o mesmo é submetido à determinada faixa de temperatura, através da obtenção de sua impedância térmica. A motivação deste trabalho é analisar o comportamento de um dissipador cujas dimensões físicas são diferentes das fornecidas pelo fabricante.

O comutador eletrônico de *tap* é baseado em dispositivos semicondutores de potência (mais precisamente, tiristores), e tem o seu controle realizado por processadores de sinais digitais (DSP's). Desta forma, o Regulador de Tensão com Comutador Eletrônico de *tap* pode ser utilizado no controle de tensão em sistemas de distribuição, obtendo uma regulação de tensão mais eficiente em relação ao Regulador de Tensão com comutador eletromecânico utilizado normalmente.

1.1. RECET

Os Reguladores de Tensão tem sido amplamente utilizados em sistemas de distribuição no Brasil há décadas. Estes equipamentos são baseados em um comutador automático eletromecânico que possibilitam um bom desempenho na regulação da tensão em regime permanente. Entretanto, com o intuito de obter um tempo de resposta mais rápido na atuação do Regulador de Tensão, aprimoramentos no método de comutação motivou a pesquisa neste tema.

A adoção de reguladores de Tensão com Comutador Eletrônico de *tap* possibilita que seja obtida uma regulação de tensão mesmo diante de VTCDs (Variação Transitória de Curta Duração), ou seja, obtém-se uma regulação de tensão em uma faixa mais ampla, além de uma tensão de boa qualidade. Isto é possível pelo fato do comutador baseado em semicondutores de potência possibilitar uma mudança de *tap* de forma direta, sem a necessidade de ir passando de um nível ao outro desejado de forma seqüencial (um a um), como ocorre em seu "parente" eletromecânico. Sendo assim, o comutador eletrônico proporcionará a variação direta entre os diferentes *taps* que forem especificados em um comutador eletrônico utilizado em um Regulador de Tensão.

1.1.1. Descrição geral do circuito de potência

O Regulador de Tensão com Comutação Eletrônica de *Tap* é inserido por intermédio de uma conexão com a rede de distribuição. Deste modo, o comutador eletrônico deverá operar de modo bidirecional em relação a corrente de carga do sistema. Como o tiristor conduz somente durante um semiciclo de onda, faz-se necessário o uso de um conjunto de tiristores arranjados de forma a garantir a condução durante todo o ciclo de onda.

Podem existir diferentes arranjos possibilitando esta operacionalidade. Na Figura 1 é mostrado o arranjo antiparalelo utilizado para compor cada célula do circuito de potência do comutador eletrônico que permitirá a condução durante todo o ciclo de onda.



Figura 1 – Arranjo adotado para a composição de uma célula do circuito de potência.

Salienta-se que na conexão mostrada na Figura 1 não constam os circuitos passivos de proteção (*snubbers*) comumente utilizados para proteger os tiristores de variações de tensão abruptas (dv/dt).

Na Figura 2 é ilustrada a visão geral da conexão do transformador com o comutador eletrônico baseado em células compostas por tiristores em antiparalelo conforme mostrado anteriormente na Figura 1.



Figura 2 – Visão Geral do RECET

A topologia monofásica do comutador eletrônico é apresentada na Figura 3. Vale ressaltar que por ser tratar apenas de um esquema simplificado, nesta figura não constam os circuitos *snubbers*. O circuito eletromagnético do autotransformador é composto no total por três bobinas distintas. A bobina principal, normalmente denominada como bobina de excitação, está diretamente conectada a carga, enquanto as outras duas bobinas são utilizadas pelo circuito comutador.

Em relação às duas bobinas conectadas ao comutador eletrônico de *taps*, cabe salientar que ambas possuem 3 (três) pontos de saída, os quais são conectados as células tiristorizadas. Devido a esta configuração, cada uma destas bobinas pode ser considerada como uma associação de 2 (duas) bobinas distintas em série, formando no final um conjunto de 4 (quatro) bobinas. Esta configuração possibilita a utilização de desde 1 (uma) até o máximo de 4 (quatro) bobinas. Vale lembrar que esta topologia não permite que as bobinas conectadas em série sejam utilizadas com as suas polaridades invertidas entre elas. Ou seja, as bobinas 1s / 2s ou 5s / 12s, por exemplo, não poderão ser subtraídas entre si, tendo em vista que nessa situação as mesmas terão seus terminais externos curto-circuitados.

A estrutura monofásica do comutador é composta por 12 (doze) chaves estáticas, como a vista na Figura 3, conectadas em série, totalizando um conjunto de 24 (vinte e quatro) chaves semicondutoras. Esta conexão possibilita uma variação de 41 (quarenta e um) níveis de tensão, sendo 20 (vinte) delas em degraus positivos (diminuição de tensão de carga), 20 (vinte) em degraus negativos (aumento de tensão de carga) e 1 (um) nível zero, ou seja, sem compensação. As variações de tensão ocorrem na proporção de 0,625% da tensão de entrada, característica esta de especificação técnica do projeto.

O funcionamento do comutador eletrônico é baseado na escolha do conjunto de chaves semicondutoras que irão conduzir por certo intervalo de tempo, regulando a tensão da carga. Para que a regulação da tensão seja obtida, basicamente são determinadas um total de 4 (quatro) células que irão conduzir durante um ciclo completo. Sendo que 4 (quatro) tiristores conduzirão no semi-ciclo positivo, enquanto os outros 4 (quatro) restantes conduzirão no semi-ciclo negativo, permitindo assim que a carga seja alimentada durante o ciclo completo.



Figura 3 – Topologia para o comutador eletrônico do RECET.

Devido ao número máximo de degraus, positivo e negativo, serem de 20 (vinte), a relação de transformação das bobinas foi definida de forma a garantir que a excursão do menor nível até o maior nível de compensação ocorra gradualmente de acordo com o menor nível permitido. Sendo assim, a relação de transformação da primeira bobina (1s) obrigatoriamente será de 0,625%, conforme visto anteriormente. As relações de transformação das bobinas restantes são estabelecidas de forma a garantir que as variações de tensão não ultrapassem o limite de 0,625% por degrau.

Visando atender estas premissas, estabeleceu-se que as relações da bobinas fossem as seguintes: 0,625% (1s), 1,25% (2s), 3,125% (5s) e 7,5% (12s). Com este conjunto de bobinas, é possível obter excursões de tensão no ponto mínimo (-12,5%) até o ponto máximo (+12,5%) de compensação, sempre garantindo que as mesmas ocorram em degraus de 0,625%.

A Figura 4 ilustra duas situações de compensação distintas. No primeiro caso, uma compensação negativa de 17 degraus é aplicada à tensão de carga no intuito de aumentá-la. Já no segundo caso, uma compensação positiva de 10 degraus é utilizada para reduzir a tensão na carga.



Figura 4 – Lógicas de compensação – 17 degraus (a) e +10 degraus (b).

2. Análise Termodinâmica

No Capítulo 1, discutiu-se a questão elétrica do projeto de um Regulador de Tensão com Comutação Eletrônica de *tap*. No entanto, em um projeto que consiste de 24 (vinte e quatro) chaves semicondutoras por cada unidade monofásica, faz-se necessário realizar um estudo sobre o dimensionamento de um sistema de dissipação de calor para dispositivos semicondutores de potência.

A circulação de corrente elétrica por qualquer bipolo provoca uma dissipação de potência igual ao produto do quadrado da corrente pela resistência do caminho percorrido. Tal potência dissipada converte-se, essencialmente, em calor (efeito Joule). As relações entre potência e energia são indicadas abaixo:

1 W = 0,239 cal/s

1 W.s = 1 J

1 cal = 4,178 J

O objetivo deste estudo é fornecer subsídios para estabelecer critérios para o dimensionamento de sistemas de dissipação do calor produzido por componentes eletrônicos, especialmente semicondutores de potência (diodos, transistores, tiristores e etc.), buscando a proteção de tais componentes, tendo como meta fundamental o aumento na confiabilidade dos equipamentos nos quais os dispositivos são empregados. Deve-se também buscar volumes, massas e custos tão reduzidos quanto possível.

Os dispositivos semicondutores atuais são praticamente todos de silício. Este material tem temperatura de fusão superior a 1400 °C. Por qual razão, então, os fabricantes especificam uma máxima temperatura de operação de junção em torno de 150 °C?

A temperatura interna de um dispositivo semicondutor determina a quantidade de portadores livres (elétrons e lacunas) que, por sua vez, é responsável pela corrente de fuga que existe quando o dispositivo deveria estar bloqueado. O efeito combinado da tensão de bloqueio com a corrente de fuga e à temperatura pode levar a ruptura do dispositivo, neste caso, provocando uma excessiva dissipação de potência no componente e levando à sua destruição.

A máxima temperatura da junção especificada pelos fabricantes é aquela que garante que o componente será capaz de bloquear a tensão prevista. Assim, um diodo de 500 V somente será capaz de manter-se desligado e suportando tal tensão se sua temperatura de junção não exceder o limite dado (por exemplo, 150 °C). Se a temperatura for maior do que esta, não se pode garantir que o diodo será capaz de bloquear os 500 V previstos.

2.1. Cálculo da potência dissipada

Uma primeira dificuldade para a escolha de um dissipador é conhecer com alguma precisão a potência que será dissipada pelo dispositivo semicondutor. Uma estimativa pode ser feita a partir de dados de catálogo, lembrando que os tempos especificados estão sempre associados a condições precisas de acionamento (no caso de transistores) e das cargas alimentadas. As condições reais de cada aplicação podem diferir bastante de tais situações de teste, de modo que se exige do projetista um cuidado especial nesta estimativa inicial das perdas no componente. Outro modo de estimativa é por simulação, desde que os modelos do dispositivo sejam confiáveis.

O cálculo das potências deve ser feito, via de regra, pelo produto dos sinais de tensão e corrente sobre o componente em questão. Consideremos para fins de exemplo as formas de onda indicadas na Figura 5. Os valores da potência média em cada subintervalo são calculados na seqüência.



Figura 5 – Exemplo de sinais de tensão, corrente e potência para cálculo de potência média dissipada. *Fonte: J.A.Pomilio[6]*.

a) Intervalo (t1-t0)

$$i(t) = Io \tag{1}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{t}) = \mathbf{V}\mathbf{1} \tag{2}$$

$$P1 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} I_0 \times V1 \times dt$$
(3)

$$P1 = \frac{Io \times V1 \times (t1 - t0)}{T}$$
(4)

b) Intervalo (t2-t1)

$$i(t) = Io + \frac{(I1 - Io) \times (t - t1)}{(t2 - t1)}$$
(5)

Caso $Io \ll I1$ e a referência do tempo seja tomada em t1, a equação (5) simplifica-se para:

$$i(t) = \frac{l1}{tq} \times t \tag{6}$$

onde tq = t2-t1.

v(t) = V1

$$P2 = \frac{1}{T} \left\{ V1 \times Io \times (t2 - t1) - V1 \times (I1 - Io) \times t1 + \frac{V1 \times (I1 - Io) \times (t2^2 - t1^2)}{2 \times (t2 - t1)} \right\}$$
(7)

Usando (6) ao invés de (5), tem-se que:

$$P2 = \frac{V1 \times I1 \times tq}{2T}$$
(8)

c) Intervalo (*t*3*-t*2)

i(t) = I1

$$v(t) = V1 + (Vo - V1) \times \frac{(t - t2)}{(t3 - t2)}$$
(9)

Sendo $Vo \ll V1$ e deslocando-se o início da integração para t=t2

$$v(t) = V1\left(1 - \frac{t}{td}\right)$$
(10)

onde td = (t3-t2).

$$P3 = \frac{1}{T} \left\{ I1 \times V1 \times (t3 - t2) - I1 \times (V_0 - V1) \times t2 + \frac{I1 \times (V_0 - V1) \times (t3^2 - t2^2)}{2 \times (t3 - t2)} \right\}$$
(11)

Simplificadamente, tem-se que:

$$P3 = \frac{I1 \times V1 \times td}{2T}$$
(12)

d) *Intervalo* (*t*4*-t*3)

i(t) = I1

v(t) = Vo

$$P4 = I1 \times Vo \times \frac{(t4 - t3)}{T}$$
(13)

e) Intervalo (*t5-t4*)

$$i(t) = I1 + (Io - I1) \times \frac{(t - t4)}{(t5 - t4)}$$
 (14)

$$v(t) = V_0 + (V_1 - V_0) \times \frac{(t - t_4)}{(t_5 - t_4)}$$
 (15)

$$P5 = \frac{1}{T} \left\{ I1 \times Vo \times tj - [I1 \times V1 + Io \times Vo - 2Vo \times I1] \times t4 - \frac{(t5^2 - t4^2)}{2tj} + \frac{(Io - I1) \times (V1 - Vo)}{tj^2} \times \left[\frac{(t5^3 - t4^3)}{3} - t4 \times (t5^2 - t4^2) + t4^2 \times (t5 - t4) \right] \right\}$$
(16)

onde tj = t5-t4.

Simplificadamente:

$$i(t) = I1 \times \left(1 - \frac{t}{tj}\right)$$
(17)

$$v(t) = V1 \times \frac{t}{tj}$$
(18)

Utilizando as equações (18) e (17), tem-se:

$$P5 = V1 \times I1 \times \frac{tj}{6T}$$
(19)

A potência média dissipada será:

$$P = P1 + P2 + P3 + P4 + P5$$
(20)

Os picos de potência no exemplo dado são:

$$Pp1 = V1 \times I1, em t = t2$$
(21)

$$Pp2 = \frac{V1}{2} \times \frac{I1}{2}, em t = \frac{t4 + t5}{2}$$
(22)

É claro que as linearizações das curvas de tensão e corrente por si só constituem uma simplificação e, portanto, implicam em erros. O uso de "bom senso", atuando de maneira moderadamente conservativa é fundamental para um cálculo seguro.

Alguns osciloscópios digitais possuem a função produto e até mesmo a sua integral, facilitando o cálculo (o valor integrado deve ser dividido pelo período de chaveamento). Este é o método mais indicado, especialmente em regime chaveado. Para sinais contínuos, a potência é, obviamente, o produto dos valores de tensão e corrente. Na ausência dos equipamentos e/ou recursos citados, deve-se obter os sinais de tensão e corrente e aproximá-los, em partes, por funções de fácil integração.

2.2. Diodos

Usualmente, a tensão de condução dos diodos de potência é da ordem de 1V, valor este que aumenta quanto maior for a tensão do componente, devendo-se verificar o valor nos manuais. O efeito da resistência de condução pode ser, em geral, desconsiderado. A dissipação no estado bloqueado pode ser desprezada em função de seu pequeno valor em comparação com as perdas em condução.

A Figura 6 indica uma aplicação típica de diodos, qual seja uma ponte retificadora trifásica, operando em baixa freqüência de comutação. O fator dominante é aquele relativo às perdas em condução. Para um cálculo analítico aproximado da potência média, pode-se considerar a tensão de condução constante (V_d) e utilizar-se o valor médio da corrente. Como a freqüência de comutação é baixa, as perdas relativas a este termo podem ser desprezadas.

A corrente média pode ser estimada, conhecida a potência consumida pela carga, lembrando-se que por cada diodo, circula 1/3 da corrente total. Assim, para uma entrada de 200 V (valor eficaz), tem-se uma tensão retificada de cerca de 300 V. Supondo uma carga de 150 Ω , a corrente média pelo diodo será de 0,66 A. Para uma queda de tensão de 2 V, tem-se uma potência média de 1,32 W.

Já para a determinação da potência de pico, como se deve conhecer o valor de pico da corrente, uma estimativa analítica é mais difícil, uma vez que a forma da corrente depende da impedância da linha trifásica e ainda de eventuais indutâncias parasitas das conexões, que podem alterar o valor do pico da corrente. Algumas folhas de dados fornecem gráficos indicando a potência ou energia dissipada pelo componente em função da forma de onda da corrente.



Figura 6 – Tensão, potência e corrente em um diodo de uma ponte retificadora trifásica com filtro capacitivo. *Fonte: Ivo Barbi*[8].

A Figura 7 mostra as formas de onda típicas de um diodo. As perdas devido a recombinação reversa são, em geral, desprezadas, uma vez que durante o tempo de decaimento da corrente a tensão é baixa. Somente quando é atingido o pico negativo da corrente reversa é que a tensão começa a crescer. Neste caso, a potência dissipada é dado por:

$$P_{\rm r} = Q_{\rm rrn} \times V_{\rm r} \times f \tag{23}$$

 Q_{rrn} : carga de recombinação reversa relativa ao intervalo t_5

V_r : tensão reversa

f : freqüência de repetição

Para a entrada em condução, como o intervalo t_1 é muito rápido, não se leva em consideração a potência dissipada neste instante.

2.3. Tiristores

Em geral, os tiristores são empregados em circuitos conectados à rede. Em função do tipo de carga alimentada, sua corrente pode assumir diferentes formas. O cálculo da potência média pode ser feito analogamente ao indicado para diodos, já que esta se trata da situação de pior caso (ângulo de condução de 180°).



Figura 7 – Formas de ondas típicas de um diodo rápido. Fonte: N.Mohan[1].

2.4. Transistores

a) Em regime contínuo:

Se o transistor (bipolar ou MOSFET) estiver operando em sua região ativa, a potência por ele dissipada é simplesmente o produto da corrente pela tensão. Caso os valores não sejam constantes, a potência média dissipada pode ser calculada pelo produto da corrente e tensão com valores *rms*.

b) Em regime chaveado:

Em aplicações onde o transistor é utilizado como interruptor (como em fontes chaveadas e amplificador classe D), deve-se considerar as perdas em condução e as perdas de comutação (chaveamento).

Formas de ondas típicas de tensão e corrente pelo componente estão indicadas na Figura 8. Os valores médio e de pico podem ser calculados (estimados) de acordo com o que foi indicado anteriormente, para formas de onda genéricas. Note que, em relação às formas de onda da Figura 5, tem-se um agravante que é a corrente de recombinação reversa do diodo, que se soma à corrente do transistor, aumentando significativamente o pico de potência dissipada na entrada em condução do transistor.



Figura 8 – Formas de onda típicas de potência em um transistor utilizado em fonte chaveada com carga indutiva. *Fonte: Ivo Barbi*[8].

No caso de transistores bipolares, a tensão de saturação é de cerca de 0,4 V. Para uma conexão *Darlington*, este valor cresce para aproximadamente 1,2 V, uma vez que o transistor não entra na região de saturação. A corrente no estado bloqueado pode, em geral, ser negligenciada para o cálculo da potência.

Para um IGBT, o valor da tensão de condução é maior, situando-se entre 3 e 5 V, a depender do componente.

Um cálculo preliminar da potência dissipada no componente deve ser feito antes da montagem do circuito a partir dos dados encontrados na folha de dados do fabricante. Com o funcionamento do equipamento, verifica-se as formas de onda reais, reconsiderando-se, caso necessário, o dimensionamento do sistema de dissipação.

As folhas de dados dos transistores de potência, comumente, apresentam os tempos característicos de chaveamento para cargas resistivas e indutivas, devendo-se, desta forma, empregar os dados máximos especificados para um dimensionamento preliminar. Devido ao fato do desempenho do componente ser diretamente influenciado pelo circuito de acionamento da base/gate, pela carga e por componentes parasitas, só será possível obter um dimensionamento mais rigoroso após o funcionamento do equipamento.

Via de regra, deve-se procurar sempre o chaveamento mais rápido possível, embora o mesmo possa trazer problemas de interferência e surtos de tensão e/ou corrente (devido aos elevados dv/dt e di/dt e componentes capacitivos e indutivos do circuito).

Transistores do tipo MOSFET apresentam menores perdas de chaveamento, já que seus tempos de subida e queda da corrente de dreno são geralmente inferiores aos obtidos para a corrente de coletor dos transistores bipolares ou IGBTs, sendo esses indicados para aplicações em freqüências elevadas. Por outro lado, possuem maiores perdas de condução que os transistores bipolares equivalentes. Suas perdas em condução podem ser preliminarmente aproximadas pelo produto da resistência entre dreno e fonte (R_{DSon}) pelo quadrado da corrente, ponderando-se pelo ciclo de trabalho. Para projetos mais acurados, deve-se considerar o fato de que R_{DS} se altera (cresce) com a elevação da temperatura. Para IGBTs, como para os bipolares, faz-se o cálculo utilizando a tensão V_{CE} e a corrente de coletor.

2.5. Mecanismos atuantes em um dissipador de calor

2.5.1. Dissipação por Convecção

O fenômeno de dissipação por convecção é dado pela movimentação do ar na região onde se encontra o dissipador de calor.

A taxa de calor dissipado [J/s] é dada por:

$$Q = h \times A \times (T_s - T_f)$$
(24)

h : coeficiente individual de transporte de calor

A : área do dissipador

T_s : temperatura de superfície

T_f : temperatura do ar circunstante

Analisando a equação, pode-se verificar que para aumentar a dissipação, deve-se aumentar a área do dissipador ou o coeficiente individual de transporte de calor (que é dependente da geometria do dissipador). Além disto, a alteração da orientação do dissipador (deixando-o em posição vertical ou horizontal, de modo a facilitar o fluxo de ar), bem como forçar a passagem do ar pelo mesmo (ventilação forçada) são ações que tornam o valor de h mais alto.

2.5.2. Dissipação por Radiação

Outro fenômeno que permite a dissipação do calor é por radiação. Neste fenômeno, a energia é transportada por ondas eletromagnéticas. Para este caso, a taxa de calor dissipado é dada por:

$$Q = \sigma \times \varepsilon \times A \times (T_s^4 - T_f^4)$$
⁽²⁵⁾

 σ : constante de Boltzamann = 5,67 × 10⁻⁸ W/m²K⁴

ε : emissividade

T_s : temperatura de superfície

T_f : temperatura do fluido (ar)

Obviamente que destas variáveis, a única que pode ser alterada para o aumento da eficiência é a emissividade, a qual é função apenas do tipo de acabamento da superfície que irradia o calor.

A partir da Tabela 1, pode-se reparar que a anodização do alumínio (material comumente utilizado nos dissipadores) altera a emissividade de 0,04 para aproximadamente 0,85, melhorando a taxa de calor irradiado em 20 vezes.

Além disto, a cor da superfície apenas influencia da absortividade de radiação, não sendo este o mecanismo pelo qual o dissipador absorve o calor do componente eletrônico, já que o calor é absorvido por condução térmica (contato entre superfícies). O fato de o dissipador estar anodizado na cor preta ou na natural não irá influenciar na dissipação.

Define-se a grandeza "resistência térmica" de um material como a capacidade do mesmo de se opor ao fluxo de calor:

$$R_{t} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{1}{(h \times A)}$$
(26)

 ΔT : diferença de temperatura entre regiões de transferência de calor

P : potência média dissipada

	absortividade	emissividade	α/ε
Anodização Preto	0,86	0,86	1,00
Anodização Azul	0,67	0,87	0,77
Anodização Bronze	0,73	0,86	0,85
Anodização Verde	0,66	0,88	0,75
Anodização Vermelho	0,57	0,88	0,65
Anodização Amarelo	0,47	0,87	0,54
Anodização Natural	0,35	0,84	0,42
Sem anodizar	0,26	0,04	6,50

Tabela 1 – Absortividade e emissividade de radiação do alumínio em função do acabamento superficial. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*

A função das aletas do dissipador é aumentar a área de troca de calor. Portanto, teoricamente quanto mais aletas, melhor. Para exercício de curiosidade, a resistência térmica entre o dissipador e o ambiente, R_{tda} , para uma placa plana quadrada é aproximadamente dada por:

$$R_{tda} = \frac{3.3}{\sqrt{\lambda \times W}} \times C_f^{0.25} + 650 \times \frac{C_f}{A}$$
(27)

 λ : condutância térmica (a 77° C) [W/(°C.cm)]

- W : espessura do dissipador [mm]
- A : área do dissipador [cm²]
- C_f : fator de correção devido à posição e tipo de superfície

Material	(W/ºC.cm)	
Alumínio	2,08	
Cobre	3,85	
Latão	1,1	
Aço	0,46	
Mica	0,006	
Óxido de Berílio	2,10	

Tabela 2 – Valores de condutância térmica para diferentes materiais. Fonte: J.A.Pomilio[6].

O fator C_f é dependente da posição do dissipador, ou seja, diferindo entre a configuração horizontal e vertical, sendo a última preferível em relação à primeira, devido ao efeito "chaminé".

Tabela 3 – Valores de C_f para dissipador de alumínio. Fonte: J.A.Pomilio[6].

	Corpo anodizado	Corpo brilhante	
Montagem Vertical	0,43	0,85	
Montagem Horizontal	0,50	1,00	

Caso seja necessário diminuir o valor efetivo da resistência térmica do dissipador, indica-se a circulação forçada de ar. A Figura 9 explicita o comportamento da resistência térmica perante a variação da circulação de ar para um determinado formato de dissipador.



Figura 9 – Variação relativa de R_{tda} com ventilação forçada. Fonte: J.A.Pomilio[6].

2.6. Comportamento em regime permanente: Potência média

Em dispositivos semicondutores de potência, o calor proveniente do efeito Joule é produzido ainda na pastilha semicondutora. A partir daí, flui para ambientes cujas temperaturas são mais baixas, como o encapsulamento do dispositivo e o ambiente. Este fluxo de energia térmica depende de fatores como o gradiente de temperatura e as características térmicas dos meios e materiais envolvidos.

Fazendo-se uma analogia com um circuito elétrico da Figura 10, representa-se a potência média dissipada como uma fonte de corrente. As temperaturas nos ambientes indicados (junção, cápsula e ambiente) são equivalentes as tensões nos respectivos nós, enquanto as resistências térmicas são as próprias resistências do modelo. No Capítulo 4, será brevemente analisado o fenômeno da *impedância térmica*.



Figura 10 – Equivalente elétrico para circuito térmico em regime permanente (incluindo dissipador). Fonte: J.A.Pomilio[6].

Via de regra, considera-se a temperatura ambiente (Ta) constante, sendo o objetivo deste dimensionamento garantir que a temperatura de junção (Tj) não ultrapasse um dado valor máximo. As resistências térmicas entre junção e cápsula (Rtjc) e entre cápsula e ambiente (Rtca) são dados do componente, disponíveis em sua folha de dados. Em alguns casos, despreza-se o valor de Rtca quando seu valor é extremamente elevado e, seguramente, seja utilizado um dissipador de baixa resistência térmica.

A equação típica do modelo é:

$$Tj = Ta + P \times (Rtjc + Rtca)$$
(28)

2.6.1 Dissipador de calor

Ao ultrapassar a máxima temperatura de junção estipulada na folha de dados do fabricante do semicondutor, verifica-se uma situação que pode levar a destruição do dispositivo, ou ao mau funcionamento do mesmo.

Considerando que a potência média dissipada não possa ser reduzida e que não é possível efetuar alterações nas resistências térmicas (a menos que se substitua o componente por algum de outro tipo) ou na temperatura ambiente, a alternativa para a proteção do semicondutor é inserir um utensílio de baixa resistência térmica entre o encapsulamento e o ambiente. Este elemento é chamado de "dissipador de calor". Como pode ser visto na Figura 10, tal "associação em paralelo" de resistências térmicas permite a redução da resistência equivalente entre ambiente e encapsulamento, diminuindo, portanto, a temperatura de junção.

Fisicamente, na montagem do semicondutor sobre o dissipador de calor, existe uma resistência térmica entre o encapsulamento do componente e o dissipador, a qual é determinada, principalmente, pelo ar contido entre ambos, por causa das rugosidades e não alinhamento das superfícies. Diminui-se esta resistência térmica aplicando pastas de materiais que sejam bons condutores térmicos e isolantes elétricos. Usualmente, são utilizadas pastas térmicas cuja composição não seja baseada em prata. Caso seja necessário prover isolação elétrica adicional para o corpo do dissipador, pode-se utilizar isoladores de mica ou teflon, que apresentam uma resistência térmica adicional entre cápsula e dissipador.

Tipo de cápsula	Tipo de isolador	Rtcd (°C/W)	
		c/pasta	s/pasta
TO-3	s/isolador	0,1	0,3
	teflon	0,7 a 0,8	1,25 a 1,45
	mica	0,5 a 0,7	1,2 a 1,5
	s/isolador	0,15 a 0,2	0,4 a 0,5
TO-66	mica	0,6 a 0,8	1,5 a 2,0
	mylar	0,6 a 0,8	1,2 a 1,4
TO-220AB	s/isolador	0,3 a 0,5	1,5 a 2,0
	mica	2,0 a 2,5	4,0 a 6,0

Tabela 4 – Valores típicos de resistência térmica entre cápsula e dissipador. Fonte: HS Dissipadores[2].

2.7. Comportamento em regime transitório: Potência de pico

Em alguns casos, a potência dissipada no semicondutor apresenta pulsos de potência. Desta forma, é necessário verificar a proteção do componente não apenas em relação ao valor médio sobre ele, mas também em relação aos picos de dissipação.

Ao ocorrer um pico de potência, a temperatura da junção é elevada, embora não ocorra variação nas temperaturas do encapsulamento e do dissipador (dependentes da potência média) por causa da maior capacidade térmica da cápsula e, especialmente, do dissipador. Esta capacidade térmica relaciona-se com o tipo de material e seu volume. Aproximando-se por uma analogia elétrica, ela se comporta como uma capacitância.

Em regime transitório, o cálculo da temperatura de junção é realizado utilizandose uma grandeza chamada "impedância térmica". Esta grandeza difere da resistência térmica por que leva em consideração a capacidade térmica da junção. O valor da impedância térmica, Ztjc, pode ser obtido de curvas normalizadas presentes nas folhas de dados de componentes semicondutores de potência. No entanto, nem todos os fabricantes e/ou modelos de semicondutores dispõem destes dados em seus manuais. Desta forma, foi necessário realizar o experimento que motivou este trabalho, visto no Capítulo 4. A Figura 11 mostra uma curva típica de impedância térmica, normalizada em relação à resistência térmica entre junção e cápsula.



Figura 11 – Curvas típicas de impedância térmica para picos de potência. Fonte: HS Dissipadores[2].

Tais curvas tomam por base pulsos quadrados de potência que, via de regra, não apresentam tal formato. Como pode ser visto na Figura 12, normalizam-se os pulsos reais de forma que o valor de pico e a energia (área sob o pulso) se mantenham. Obtémse o ciclo de trabalho através da divisão da largura do pico retangular pelo período de chaveamento e seleciona-se a curva adequada, obtendo assim o valor de Ztjc (normalizado ou não). Calculada a temperatura do encapsulamento (utilizando a potência média), pode-se encontrar o valor da temperatura de junção no instante do pulso de potência.



Figura 12 – Normalização do pulso de potência. Fonte: J.A.Pomilio[6].

$$tp = \frac{1}{Pp} \times \int_{0}^{\tau} Pd(t)dt$$
 (29)

Uma vez que se determina a temperatura relativa à potência média, calcula-se a temperatura de pico da junção a partir de (30).

$$Tj_{p} = Tc + Pp \times Z_{tjc}(tp, \delta)$$
(30)

onde $\delta = tp/T$.

2.8. Cálculo dos dissipadores

Neste item, são indicados alguns critérios a serem adotados no dimensionamento de dissipadores. Os valores de potência serão dados como ponto de partida para facilitar o entendimento através do exemplo dado. Em situações reais, deverão ser calculados a partir de dados obtidos nas folhas de dados dos componentes ou pela observação das formas de onda em um osciloscópio.

- Preferencialmente, a temperatura de trabalho da junção deve ser de 20% a 30% menor que o seu valor máximo, permitindo a proteção do componente sem superdimensionar o dissipador.
- Para ambientes nos quais não se faça um controle rígido de temperatura, deve-se utilizar uma temperatura ambiente de 40°C, considerando-se assim um caso extremo.
- Caso o dissipador se encontre dentro de algum recipiente ou caixa na qual a temperatura possa passar dos 40°C, considera-se sempre a máxima temperatura do ar com o qual o dissipador troca calor. É conveniente, à falta de maiores informações, utilizar o valor de 40°C, verificando após a entrada em operação do protótipo a real temperatura ambiente.
- Verificar a necessidade do uso de isoladores (mica, teflon ou mylar) e não desconsiderar suas resistências térmicas.
- É sempre recomendável a utilização de pastas térmicas, lembrando de se considerar a sua resistência térmica.

Exemplo:

Rtjc = 1°C/W (dado de catálogo) Rtca = 35°C/W (dado de catálogo) Rtcd = 0,7°C/W (isolador e pasta) Ztjc = 0,01°C/W (dado de catálogo) P = 20W Pp = 5kW Tjmax = 150°C Ta = 40°C

a) Cálculo em regime permanente $Tj = 0.8 \times Tjmax = 120^{\circ}C$ $Tj = Ta + P \times (Rtjc + Rteq)$ $Rteq = 3^{\circ}C/W$

 $Rteq = \frac{Rtca \times (Rtcd + Rtda)}{Rtca + Rtcd + Rtda}$ $Rtda_{máx} = 2,58^{\circ}C/W$

O dissipador térmico a ser selecionado deve possuir uma resistência térmica menor do que a calculada. Ou seja, pode-se adotar:

Rtda = $2^{\circ}C/W$

Recalculando-se o novo valor de Rteq (para o dissipador utilizado cuja resistência térmica é Rtda), obtém-se Rteq = $2,5^{\circ}$ C/W.

b) Cálculo em regime transitório $Tc = Ta + Rteq \times P = 90^{\circ}C$ $Tjp = Tc + Ztjc \times Pp = 140^{\circ}C > 120^{\circ}C$

Como pôde ser observado acima, no transitório ultrapassou-se o valor de Tj estabelecido, sendo necessário redimensionar o dissipador, a partir de um valor admissível de Tc.

$$Tc_{max} = Tj - Ztjc \times Pp$$
(31)

 $Tc_{max} = 70^{\circ}C$ $Tc_{max} = Ta + Rteq \times P$ $Rteq = 1,5^{\circ}C/W$ $Rtda = 0,86^{\circ}C/W$ Desta forma, protege-se o dispositivo contra a potência média dissipada e os pulsos de potência nos transitórios, ao utilizar-se um dissipador de resistência térmica de 0,8°C/W. Outra possibilidade seria usar um dissipador de maior resistência térmica, mas fazendo uso de ventilação forçada.

3. Componentes semicondutores de potência

3.1. Introdução a física dos semicondutores

Para que haja a passagem de corrente elétrica em um meio, é necessária a aplicação de um campo elétrico no mesmo, além da existência de portadores livres (geralmente elétrons). Nos metais (como cobre e prata) a densidade de portadores livres é da ordem de 10^{23} /cm³, enquanto para os materiais isolantes, como quartzo ou óxido de alumínio, o valor diminui para 10^{3} /cm³. Os chamados semicondutores, como o silício, possuem densidades intermediárias, na faixa de 10^{8} a 10^{19} /cm³. Para os condutores e isolantes, tais grandezas são propriedades intrínsecas do material, enquanto que para o caso dos semicondutores, podem ser variadas, adicionando-se "impurezas" de outros materiais ou pela aplicação de diferentes campos elétricos.

3.1.1. Os portadores: elétrons e lacunas

Os átomos dos elementos que possuem 4 (quatro) elétrons em sua camada mais externa (C, Ge, Si, etc.), ou ainda, moléculas com propriedades similares, permitem o estabelecimento de ligações muito estáveis, já que ao compartilharem os elétrons externos pelos átomos vizinhos, obtém-se um arranjo com 8 (oito) elétrons na camada de valência (Figura 13). Este fenômeno é conhecido como *ligação covalente*.



Figura 13 – Estrutura cristalina de material semicondutor. Fonte: J.A.Pomilio[6].

Para qualquer temperatura acima do zero absoluto, ou seja, -273°C, algumas ligações tendem a ser rompidas, produzindo elétrons livres. Este fenômeno é conhecido como *ionização térmica*. Assim, o átomo que perdeu tal elétron se torna "positivo". Eventualmente, o mesmo ocorre com outro elétron e é atraído pela carga positiva do átomo, preenchendo a ligação covalente. Desta forma, obtém-se uma movimentação relativa desta "carga positiva" (chamada de lacuna), que é devido ao deslocamento dos elétrons que saem de suas ligações covalentes e vão ocupar outras, como visto na Figura 14.



Figura 14 – Movimento de elétrons e lacunas em semicondutor. Fonte: J.A.Pomilio[6].

De forma a manter o equilíbrio, a ionização térmica gera o mesmo número de elétrons e lacunas. Para um material puro, pode-se aproximar a densidade de portadores por:

$$n_i \approx \sqrt{C \times e^{\frac{-q \times E_g}{k \times T}}}$$
(32)

onde C é uma constante de proporcionalidade, q é a carga do elétron (valor absoluto), E_g é a banda de energia do semicondutor (1,1eV para o Si), k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura em Kelvin. Para o Si, à temperatura ambiente (~300K), tem-se que n_i $\approx 10^{10}/\text{cm}^3$.

3.1.2. Semicondutores dopados

A partir da adição de átomos que possuam 3 (três) elétrons (como alumínio ou boro) ou 5 (cinco) elétrons (como o fósforo) em suas camadas de valência à estrutura dos semicondutores, ocorre o fenômeno mostrado na Figura 15. Os átomos vizinhos a tal impureza terão suas ligações covalentes incompletas ou com sobra de elétrons.

Neste caso, não existe mais o equilíbrio entre elétrons e lacunas, existindo, portanto, um maior número de elétrons livres nos materiais dopados com elementos da quinta coluna da tabela periódica. Caso a dopagem seja com elementos da terceira coluna, existirá um maior número de lacunas. Respectivamente, são produzidos os chamados materiais semicondutores do tipo N e do tipo P. Deve ser observado, entretanto, que o material permanece eletricamente neutro, já que a quantidade total de elétrons e prótons é a mesma.



Figura 15 – Semicondutores dopados. Fonte: J.A.Pomilio[6].

Quando um elétron livre é capturado pela lacuna introduzida pelo boro, tem-se a movimentação desta lacuna. Neste caso, a mesmas são chamadas de *portadores majoritários*, sendo os elétrons os *portadores minoritários*.

Já no caso do material do tipo N, a movimentação do elétron excedente ioniza o átomo, fazendo-o capturar outro elétron livre. Neste caso, os *portadores majoritários* serão os elétrons, enquanto os *minoritários* são as lacunas.

As dopagens das impurezas $(10^{19}/\text{cm}^3 \text{ ou menos})$ são geralmente realizadas em níveis muito menores que a densidade de átomos do semicondutor $(10^{23}/\text{cm}^3)$, de modo que se desprezam as modificações das propriedades da ionização térmica.

Mesmo em um material dopado, o produto das densidades de lacunas e de elétrons ($p_0 e n_0$, respectivamente) é igual ao valor n_i^2 visto acima na Eq.(32), embora, neste caso $p_0 \neq n_0$.

Além do fenômeno da ionização térmica, existe uma quantidade adicional de cargas "livres", as quais são relativas às próprias impurezas. Se considerar-se os valores relatados acima, verifica-se que a concentração de átomos de impurezas é muito maior do que a densidade de portadores gerados por efeito térmico. Ou seja, para um material
do tipo P, p_0 tende a N_a , onde N_a é a densidade de impurezas "aceitadoras" de elétrons. Para o caso do material do tipo N, n_0 tende a N_d , onde N_d é a densidade de impurezas "doadoras" de elétrons.

De qualquer forma, a densidade dos portadores minoritários será proporcional ao quadrado de n_i (conhecido como densidade *intrínseca*), sendo fortemente dependente da temperatura.

3.1.3. Recombinação

Pelo fato da quantidade n_idepender unicamente das propriedades do material e da temperatura, é preciso existir algum mecanismo responsável pela *recombinação* do excesso de portadores, à medida que novos portadores são criados pela ionização térmica.

Este mecanismo inclui tanto a recombinação de um elétron com uma lacuna em um átomo de Si, como a captura dos elétrons pela impureza ionizada ou, adicionalmente, por imperfeições na estrutura cristalina. Estas imperfeições previnem os átomos adjacentes de necessitar realizar 4 (quatro) ligações covalentes.

Define-se a grandeza "tempo de vida" de um portador como o tempo médio necessário para que o elétron ou lacuna sejam "neutralizados" pela formação de uma ligação covalente. Em geral, considera-se o "tempo de vida" de um portador como uma constante do material.

No entanto, na ocorrência de um significativo aumento na temperatura do semicondutor, aumenta-se também o tempo de recombinação do excesso de portadores, tornando os tempos de comutação dos dispositivos de tipo "portadores minoritários", como o transistor bipolar e os tiristores, mais longos.

3.1.4. Correntes de deriva e de difusão

No momento em que um campo elétrico é aplicado a um material semicondutor, as lacunas se moverão no sentido do campo decrescente. Por outro lado, os elétrons seguirão em sentido oposto. Esta corrente irá variar o seu valor de acordo com um parâmetro denominado *mobilidade*, o qual depende do material e do tipo de portador. Para o Si a temperatura ambiente, a mobilidade dos elétrons é 3 (três) vezes maior do que a das lacunas. Aproximadamente, pode-se dizer que a mobilidade diminui com o quadrado do aumento da temperatura.

O outro fator representante da movimentação dos portadores é por *difusão*. Este é o caso quando existem regiões adjacentes em que há diferentes concentrações de portadores. Seus movimentos aleatórios tendem a equalizar sua dispersão pelo meio, ocorrendo assim uma tendência de migração de portadores das regiões mais concentradas para as mais dispersas.

3.2. Diodos de potência

O diodo semicondutor é uma estrutura P-N que permite a passagem de corrente em um único sentido, caso esteja sendo utilizado dentro de seus limites de tensão e corrente. Alguns detalhes de seu funcionamento, que em geral são desprezados nos diodos de aplicações de sinais, podem ser significativos para seus irmãos de potência, os quais são caracterizados por maiores áreas (e modo a permitir maiores correntes) e comprimento (a fim de suportar tensões mais elevadas). Simplificadamente, é visualizada a estrutura interna de um diodo na Figura 16.

Submetendo-se uma tensão entre as camadas P e N, a diferença de potencial irá aparecer na região de transição, já que a resistência desta parte do semicondutor é muito maior que a do resto do dispositivo (devido à concentração dos portadores).



Figura 16 – Estrutura básica de um diodo semicondutor. Fonte: J.A.Pomilio[6].

Acontecendo a polarização reversa do diodo, ou seja, caso seja aplicada uma tensão negativa no anodo (região P) e positiva no catodo (região N), mais portadores positivos (lacunas) migram para o lado N, e vice-versa, de modo a aumentar a largura da região de transição, elevando assim a barreira de potencial.

Seja por difusão ou por efeito térmico, certo número de portadores minoritários penetra na região de transição. Estes são, então, acelerados pelo campo elétrico, indo até a outra região neutra do dispositivo. No entanto, esta corrente reversa varia, basicamente, com a temperatura, não dependendo da tensão aplicada.

Caso o campo elétrico na região de transição seja muito intenso, os portadores em trânsito obtêm grande velocidade, se chocando com átomos da estrutura e produzindo novos portadores, os quais, também acelerados, produzem um efeito de avalanche. Ou seja, ocorre um aumento abrupto na corrente, sem uma redução significativa na tensão de junção, produzindo-se um pico de potência que danifica o dispositivo.

Uma polarização direta leva ao estreitamento da região de transição e à redução da barreira de potencial. Quando a tensão aplicada superar o valor natural da barreira, cerca de 0,7V para diodos de Si, os portadores negativos do lado N serão atraídos pelo potencial positivo do anodo e vice-versa, levando o componente a condução.

Como já relatado, a estrutura interna de um diodo de potência é relativamente diferente da apresentada, já que existe uma região N intermediária, com baixa dopagem. Seu intuito é permitir ao dispositivo suportar tensões mais elevadas, pois tornará menor o campo elétrico na região de transição (a qual será mais larga, de modo a manter o equilíbrio de carga).

Um aspecto negativo é que esta região de pequena densidade de dopante dará ao diodo uma significativa característica resistiva quando o mesmo se encontra em condução, tornando-se mais expressiva quanto maior for à tensão suportável pelo componente. As camadas que realizam os contatos externos são altamente dopadas, de modo a obter um contato com característica ôhmica e não semicondutor.

De forma a criar campos elétricos mais suaves, o contorno entre as regiões de anodo e catodo é arredondado, evitando assim, o efeito de pontas.

32

Para o estado bloqueado, considera-se a região de transição um capacitor, cuja carga é aquela presente na própria região de transição.

No estado de condução, não existe tal carga, entretanto, por causa da alta dopagem da camada P+, por difusão, ocorre uma penetração de lacunas na região N-. Aliado a isso, à medida que cresce a corrente, mais lacunas são injetadas na região N-, fazendo com que os elétrons migrem da região N+, de forma a manter a neutralidade de carga. Portanto, cria-se uma carga espacial no catodo, a qual terá que ser removida (ou recombinada) de modo a permitir a passagem para o estado bloqueado do diodo.

Presume-se, portanto, que o comportamento dinâmico de um diodo de potência em nada se assemelhe ao de uma chave ideal, como observado na Figura 17. Suponhase que seja aplicada uma tensão v_i ao diodo, alimentando uma carga resistiva (lembrando que cargas indutivas e capacitivas podem alterar alguns aspectos da forma de onda).

Durante o intervalo t1, remove-se a carga acumulada na região de transição. Devido ao fato de que ainda não houve significativa injeção de portadores, a resistência da região N- é muito elevada, produzindo assim, um pico de tensão. Além disto, as indutâncias parasitas do componente e das conexões também colaboram para o aumento do efeito da sobretensão. Já para o intervalo t2, ocorre a chegada dos portadores e a redução da tensão para aproximadamente 1V. Estes tempos se encontram na ordem de centenas de nano segundos.

No instante do desligamento, a carga espacial presente na região N- deve ser retirada antes do processo de reinício da formação da barreira de potencial na junção. Enquanto ainda houver portadores transitando, o diodo se mantém em estado de condução. A redução em V_{on} é devido à diminuição da queda ôhmica. Ao atingir o pico negativo de corrente, ocorre a retirada do excesso de portadores, iniciando-se, então, o processo de bloqueio do diodo. A taxa de variação da corrente, associada às indutâncias do circuito, provoca uma sobretensão negativa.



Figura 17 – Estrutura de um diodo de potência e suas formas de onda típicas de comutação. *Fonte: N.Mohan[1].*

3.3. Tiristor

O nome tiristor engloba uma família de diversos dispositivos semicondutores que operam em regime chaveado, tendo em comum uma estrutura de 4 (quatro) camadas semicondutoras numa sequência *p-n-p-n*, apresentando um funcionamento biestável.

O tiristor cujo uso é o mais difundido é o SCR (Retificador Controlado de Silício). Outros componentes, cujas estruturas se assemelham a do SCR são: LASCR (SCR ativado por luz), TRIAC (tiristor triodo bidimensional), DIAC (tiristor diodo bidirecional), GTO (tiristor comutável pela porta) e MCT (tiristor controlado por MOS).

3.3.1. Princípio de funcionamento

Como relatado acima, o tiristor apresenta 4 (quatro) camadas semicondutoras, alternadamente *p-n-p-n*, possuindo três terminais: *anodo* e *catodo*, pelos quais a corrente flui e o *gate*, porta esta que com uma injeção de corrente, faz com que se estabeleça a corrente anódica. Uma estrutura simplificada do dispositivo é ilustrada na Figura 18.

Caso seja aplicada uma tensão positiva entre anodo e catodo, as junções J1 e J3 se encontram diretamente polarizadas, enquanto J2 está reversamente polarizada. Desta forma, não haverá condução de corrente até que tensão V_{ak} se eleve a um valor necessário para provocar a ruptura da barreira de potencial em J2.



Figura 18 – Funcionamento básico do tiristor e seu símbolo. Fonte: J.A.Pomilio[6].

Havendo uma tensão V_{gk} positiva, uma corrente irá circular através de J3, com portadores negativos indo do catodo para o gate. Devido a sua própria construção, a camada P ligada ao gate é suficientemente estreita, de forma que parte destes elétrons que cruzam J3 possua energia cinética suficiente para vencer a barreira de potencial existente em J2, sendo, portanto, atraídos pelo anodo.

Assim, diminui-se a diferença de potencial na junção reversamente polarizada, estabelecendo-se uma corrente entre anodo e catodo, a qual pode persistir mesmo na ausência de corrente no gate.

Quando é aplicada uma tensão V_{ak} negativa, J1 e J3 se encontram reversamente polarizadas, enquanto J2 estará diretamente polarizada. Pelo fato de J3 ser intermediária a regiões de alta dopagem, a mesma não será capaz de bloquear tensões elevadas, de modo que J1 tem a responsabilidade de manter o estado de bloqueio do componente.

Muitas bibliografias fazem uma analogia entre o funcionamento do tiristor e o de uma associação de dois transistores, conforme mostrado na Figura 19.

A partir do instante em que uma corrente I_g positiva é aplicada, os módulos de I_{c2} e I_k tendem a aumentar. Como $I_{c2} = I_{b1}$, T1 entra em condução, obtendo-se $I_{b2} = I_{c1} + I_g$, elevando, então, o valor de I_{c2} . Assim, o dispositivo entrará em estado de saturação, mesmo que a corrente I_g seja retirada. Este efeito cumulativo ocorre caso os ganhos dos transistores sejam maiores do que 1. O componente irá continuar em processo de condução, desde que a corrente de anodo tenha atingido um valor superior ao limite I_L (*latching current*).

De forma análoga, para que o tiristor pare de conduzir, é necessário que a corrente que passa por ele caia abaixo de um valor mínimo de manutenção I_H (*holding current*), permitindo que a barreira de potencial em J2 seja restabelecida.

Devido as suas características construtivas, a aplicação de uma polarização reversa no terminal de gate não permite a comutação do tiristor. Este comportamento se refere aos GTOs, mas não será abordado neste trabalho.



Figura 19 – Analogia entre tiristor e transistores bipolares. Fonte: J.A.Pomilio[6].

3.3.2. Disparo dos tiristores

Abaixo, serão consideradas cinco maneiras distintas de realizar o disparo (entrada em condução) dos tiristores:

a) Tensão

Quando o tiristor é polarizado diretamente, no estado desligado (sem corrente no gate), a tensão de polarização é aplicada sobre a tensão J2. Aumentando-se a tensão V_{ak},

ocorre uma expansão da região de transição tanto para o interior da camada do gate quanto para a camada N adjacente. Devido ao efeito térmico, mesmo não havendo corrente de gate, existem cargas livres que penetram na região de transição (neste caso, elétrons), sendo aceleradas pelo campo elétrico em J2. Para valores de tensão muito acima dos nominais, pode-se iniciar um processo de avalanche, fazendo com que as cargas aceleradas, ao chocarem-se com átomos vizinhos, causem a expulsão de novos portadores, os quais reproduzem o processo. Do ponto de vista do comportamento do fluxo de cargas pela junção J2, este efeito é similar ao de uma injeção de corrente pelo gate, de maneira que, caso ao iniciar-se a passagem de corrente for atingido o valor de I_L , o dispositivo entrará em condução.



Figura 20 – Característica estática do tiristor. Fonte: J.A.Pomilio[6].

b) *Ação de corrente positiva no gate*

O disparo através do pulso de corrente no gate é a maneira mais comum de fazer com que um tiristor entre em regime de condução. Para isto, é necessário conhecer os limites máximos e mínimos de V_{gk} e I_g , como mostrados na Figura 21.

A tensão descrita como V_{gm} indica a mínima tensão de gate que garante a condução de todos os componentes de um dado tipo, na mínima temperatura especificada pelo fabricante.

Abaixo deste valor, encontra-se V_{go} , a qual é dada pela máxima tensão de gate que garante que nenhum componente de um dado tipo entrará em condução, na máxima temperatura, também especificada pelo fabricante.

Analogamente, I_{gm} é a mínima corrente necessária para garantir que qualquer dispositivo de um certo tipo entre em condução, na mínima temperatura especificada.

De modo a garantir que o componente opera em condições ideais, a reta de carga do circuito de acionamento deve garantir a passagem além dos limites de V_{gm} e I_{gm}, não excedendo os demais limites (tensão, corrente e potências máximas).



Figura 21 – Condições de disparo de tiristor através de controle pelo gate. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*

c) Taxa de crescimento da tensão direta

Quando se encontram reversamente polarizadas, a área de transição de uma junção se comporta como um capacitor, por causa do campo criado pela carga espacial. Se considerar-se que praticamente toda a tensão aplicada é sobre a junção J2 (na condição do tiristor polarizado diretamente, mas sem corrente em seu gate), a corrente que atravessa tal junção é dada por:

$$I_{j} = \frac{d(C_{j} \times V_{ak})}{dt} = C_{j} \times \frac{dV_{ak}}{dt} + V_{ak} \times \frac{dC_{j}}{dt}$$
(33)

Onde C_i é a capacitância de junção.

Quando o valor de V_{ak} cresce, a largura da região de transição é aumentada, diminuindo assim a capacitância da junção. No entanto, caso a taxa de variação da tensão seja suficientemente elevada, a corrente que atravessa a junção pode levar o dispositivo ao estado de condução.

Sabendo que a capacitância cresce com o aumento da área do semicondutor (recordando a teoria do capacitor de placas paralelas), os componentes utilizados para valores de correntes mais elevados tendem a ter limites de dv/dt menor.

A taxa de crescimento da tensão reversa não é um parâmetro relevante, visto que as correntes que circulam pelas junções J1 e J3 (nesta situação) não têm a capacidade de levar o dispositivo a condução.

Os *snubbers* são circuitos formados, geralmente, a partir de resistores e capacitores em paralelo com os tiristores, cujo objetivo é limitar a velocidade de crescimento da tensão direta sobre eles.

d) Temperatura

Para temperaturas altas, a corrente de fuga em uma junção p-n reversamente polarizada dobra aproximadamente com o aumento de 8 °C. Esta elevação da temperatura pode levar a uma corrente através de J2 suficiente para fazer com que o dispositivo entre em condução.

3.3.3. Circuitos de excitação de gate

a) *Condução*

Como visto anteriormente, a entrada em condução de um tiristor é controlada pela injeção de uma corrente em seu *gate*, sendo que este impulso deve estar dentro da área delimitada pela Figura 21. Tanto a duração do sinal de disparo (que deve ser tal que permita à corrente chegar ao valor I_L) quanto o valor de I_g mínimos para certo modelo de tiristor se encontram descritos na folha de dados do fabricante.

b) *Comutação*

Se, por um lado, é fácil fazer com que o tiristor entre em condução, o mesmo não se pode dizer de sua comutação, já que sua condição de desligamento é que a corrente de anodo caia abaixo do valor de I_H. Caso isto ocorra em conjunto com a aplicação de uma tensão reversa, o bloqueio acontecerá mais rapidamente. Por não existir uma maneira de se desligar o tiristor através de seu *gate* (como no caso dos GTOs), é necessário algum arranjo no nível do circuito de anodo de forma a reduzir a corrente principal.

b.1) Comutação Natural

É caracterizada por aquela utilizada em sistemas de corrente alternada, onde, em função do caráter oscilatório da tensão de entrada, a corrente tenderá a se inverter em um dado instante, diminuindo seu valor abaixo de I_H , desligando o dispositivo. Este fato se confirma, desde que V_{ak} não cresça num intervalo inferior a t_{off} , o que poderia levá-lo novamente ao regime de condução.



Figura 22 – Controlador de tensão CA com carga RL e formas de onda típicas. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*

b.2) Comutação por Ressonância da Carga

Em certas aplicações, a própria carga pode, através de sua dinâmica natural, fazer com que a corrente do circuito se inverta e o tiristor desligue. Isto ocorre, por exemplo, em circuitos cujas cargas são capacitivas, as quais ressonando com as indutâncias de entrada produzem um aumento na tensão ao mesmo tempo em que reduzem a corrente. Se esta corrente diminuir ao ponto de se tornar menor do que a

corrente de manutenção I_H dada pelo fabricante, além de permanecer reversamente polarizado por tempo suficiente, haverá o desligamento do dispositivo. A Figura 23 ilustra o comportamento descrito acima. Enquanto o tiristor conduz, a tensão de saída vo(t) é praticamente igual à tensão de entrada. A partir do momento em que a corrente se anula, desligando assim o tiristor S1, o que se observa é a tensão imposta pela carga ressonante.



Figura 23 – Circuito e formas de onda de comutação por ressonância de carga. Fonte: J.A.Pomilio[6].

b.3) Comutação Forçada

Utiliza-se a comutação forçada em circuito cuja alimentação seja por corrente contínua, não havendo assim, reversão no sentido da corrente de anodo.

Sua função é oferecer à corrente de carga um caminho alternativo ao tiristor e simultaneamente, aplicar uma tensão reversa sobre o mesmo, desligando-o.

Para um instante anterior a to (Figura 25), a corrente de carga, que é considerada praticamente constante para um constante de tempo elevada do circuito RL, atravessa o diodo de circulação.

Dispara-se em to, o tiristor principal Sp, conectando-se assim a fonte à carga, tornando Df reversamente polarizado. Há agora o surgimento de uma malha formada por Sp, Cr, D1 e Lr, permitindo a ressonância entre Cr e Lr, o que leva o capacitor a uma inversão de polaridade em sua tensão. Após algum tempo, a tensão Vc do capacitor atinge seu valor máximo, desligando o diodo D1 (já que a corrente se anula). Desta maneira, o capacitor está apto a realizar a comutação de Sp. Em t2, ocorre o disparo do tiristor auxiliar t2 e a corrente de carga passa a ser fornecida pelo caminho dado por Lr, Sa e Cr, levando a corrente por Sp a zero e simultaneamente, aplicando uma tensão reversa sobre ele, de modo a desligá-lo.

Em t3, o valor da corrente no capacitor Cr se iguala ao da carga, de modo que a variação de sua tensão assume agora uma forma linear. Esta tensão cresce (no sentido negativo) até o ponto em que o diodo de circulação Df entra em condução, em t4. Devido a constante de tempo relativamente alta, a corrente em Lr ainda não é nula, ocorrendo assim uma pequena oscilação na malha Lr, Sa, Cr e D2 e, a partir do momento que a corrente em Sa é nula, o capacitor se descarrega até a tensão Vcc na malha formada por Cr, D1, Lr, fonte e o diodo Df.



Figura 24 – Topologia com comutação forçada de tiristor e formas de onda típicas. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*



Figura 25 – Detalhes das formas de onda durante a comutação. Fonte: J.A.Pomilio[6].

3.3.4. Snubbers

O objetivo dos circuitos *snubber* é evitar problemas provenientes de excessivos valores de dv/dt e di/dt, conforme já mencionado anteriormente.

a) *O problema di/dt*

Primeiramente, uma medida capaz de limitar danos causados pelo crescimento abrupto da corrente de anodo é a construção de um circuito acionador de gate (*driver*) adequado, cuja derivada de corrente de disparo seja alta, de modo a acelerar a expansão da área condutora.

Outra ação é a utilização de um reator saturável em série com o tiristor, limitando assim o crescimento da corrente de anodo durante a entrada em condução do dispositivo.

Uma vantagem adicional do uso do indutor é a redução da potência dissipada no chaveamento, já que quando a corrente de anodo aumentar o seu valor, a tensão V_{ak} será reduzida devido à queda sobre a indutância.

Este atraso no crescimento da corrente de anodo pode ocasionar a necessidade de uma seqüência de pulsos de corrente no *gate* (ou mesmo do aumento na largura do pulso), de modo a assegurar a condução do componente.

b) *O problema dv/dt*

A limitação do crescimento de V_{ak} é usualmente realizada por circuitos RC (*resistor-capacitor*), RCD (*resistor-capacitor-diodo*) e RLCD (*resistor-indutor-capacitor-diodo*) em paralelo com o tiristor, como visto na Figura 26.

Para o caso menos complexo (a), quando o tiristor é comutado, a tensão V_{ak} segue a dinâmica dada por RC que, além disso, desvia a corrente de anodo, facilitando a comutação. Quando o tiristor é ligado, o capacitor sofre descarga, causando um pico de corrente no dispositivo, o qual é limitado pelo valor de R.

Para o caso (b), este pico agora é reduzido através do uso de diferentes valores de resistores para os processos de carga e descarga de C. Para o último caso, o pico é limitado por L, o que não traz eventuais problemas de di/dt. A corrente de descarga de C

ajuda o tiristor a entrar em condução (fazendo com que a corrente de anodo seja maior do que I_L).

A descarga é realizada no resistor, o que dissipa praticamente toda a energia anteriormente acumulada no capacitor.



Figura 26 – Circuitos snubber para dv/dt. Fonte: Ivo Barbi[8].

3.3.5. Associação série de tiristores

Em situações onde o circuito opera com tensão superior à aquela suportável por um único tiristor (como o Regulador de Tensão visto no Capítulo 1) é preciso associar estes componentes em série. No entanto, devido a diferença na natureza das correntes de bloqueio, capacitâncias de junção, tempos de atraso, quedas de tensão direta e recombinação reversa, faz-se necessário o uso de redes de equalização estática externas.

A Figura 27 ilustra possíveis distribuições de tensão em uma associação série de 3 (três) tiristores, em cinco diferentes situações de operação.

As diferenças nas características de bloqueio criam uma desigual distribuição de tensão em regime, durante os estados de bloqueio direto e reverso, ou seja, I e VI. Desta forma, o dispositivo com a menor condutância terá de suportar a maior tensão quando bloqueado. Logo, é aconselhável, portanto, a utilização de componentes com características as mais próximas possíveis.

Nos estados de condução (III e IV), estes problemas de distribuição de tensão são inexistentes. Os casos II e V representam, respectivamente, desbalanceamento durante os transientes de disparo e comutação. Em II, visualiza-se o comportamento quando o tempo de atraso do tiristor 1 é relativamente mais longo do que dos demais,

tendo, portanto, que suportar toda a tensão. Para V, demonstra-se a situação onde existem diferentes tempos de recombinação para os diversos dispositivos. O primeiro a se recombinar suportará toda a tensão.



Figura 27 – Tensões em associação de tiristores sem rede de equalização. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*

3.3.5.1 Estado estacionário

O método usual de equalizar tensões nas situações I e VI é colocar uma rede resistiva com resistor conectado entre anodo e catodo de cada tiristor. Estes resistores representam consumo de potência, sendo desejável usar os de maior valor possível. O projeto do valor da resistência deve considerar a diferença nos valores das correntes de bloqueio direta e reversa.

3.3.5.2 Disparo

Um método que pode ser usado para minimizar o desequilíbrio do estado II é fornecer uma corrente de gate com potência suficiente e de rápido crescimento, para minimizar as diferenças relativas ao tempo de atraso. A largura do pulso deve ser tal que garanta a continuidade da condução de todos os tiristores.

3.3.5.3 Desligamento

De modo a equalizar a tensão no estado V, liga-se um capacitor entre anodo e catodo de cada tiristor. Caso a impedância do capacitor seja suficientemente baixa e/ou utiliza-se a constante de tempo necessária, o crescimento da tensão no dispositivo mais rápido será limitado até que todos se recombinem. Esta implementação também alivia a situação no disparo, uma vez que realiza uma injeção de corrente no tiristor, facilitando a entrada em condução de todos os dispositivos.

Contudo, se o capacitor providencia excelente equalização de tensão, o pico de corrente injetado no componente no disparo pode ser excessivo, devendo ser limitado por meio de um resistor em série com o capacitor. É interessante um alto valor de R e baixo valor de C, de modo que, com o mesmo RC, se obtenha a mesma dissipação de energia. Caso o resistor tenha um valor muito elevado, será imposta uma tensão de rápido crescimento sobre o tiristor, causando disparos indevidos por dv/dt. Pode-se então utilizar um diodo em paralelo com o resistor, o que garante um caminho de carga para o capacitor, enquanto a descarga se faz por este resistor.



Figura 28 – Circuito de equalização de tensão em associação série de tiristores. *Fonte: J.A.Pomilio[6].*

3.3.6. Resfriamento

As características do dispositivo presentes na folha de dados do fabricante são fornecidas para certa temperatura de junção. O calor produzido na pastilha devido à passagem de corrente deve ser dissipado, transferindo-se da pastilha para o encapsulamento, deste para o dissipador e finalmente, para o meio de refrigeração (ar).

Este conjunto possui uma capacidade de armazenar energia térmica, ou seja, uma constante de tempo que permite sobrecargas de corrente por curtos períodos de tempo. Geralmente, esta constante é da ordem de alguns minutos no caso de refrigeração a ar.

Para aumentar o grau de segurança do projeto, estipula-se que a temperatura de operação da junção seja menor do que o máximo especificado, já que com o aumento da mesma, existe a diminuição na confiabilidade do dispositivo no que se refere a capacidade de suportar tensões no estado de bloqueio.

4. Bancada Térmica

4.1. Aparato Experimental

De modo a analisar o comportamento termodinâmico do grupo tiristor/dissipador para o nível nominal de corrente do RECET, ou seja, 50 A, foi desenvolvida uma bancada para testes apelidada de *Bancada Térmica*. Seu esquemático segue o mostrado na Figura 29.

As seções seguintes são subdivididas pelas diferentes etapas do projeto, nas quais se encaixam basicamente: construção do ambiente físico (invólucro) no qual se encontram o grupo tiristor/dissipador e o atuador, instrumentação (formada pela eletrônica responsável pelas etapas de sensoriamento, condicionamento e acionamento) e finalmente, pelo atuador, composto por uma carga resistiva em regime *on/off* controlando a temperatura do ambiente mencionado anteriormente.



Figura 29 – Esquemático da bancada térmica.

4.2. Recipiente

O primeiro passo para a construção do aparato da Figura 29 foi obter uma caixa de um material de baixa condutividade térmica. Tal exigência é devido ao fato de que um invólucro com alta condutividade térmica tenderia a perder muita energia térmica

para o ambiente externo, sendo necessário dissipar uma potência maior no atuador (de modo a contrabalançar as perdas), além de diminuir a constante de tempo do controle de temperatura.

Portanto, utilizou-se uma disposição de 2 (duas) caixas idênticas de madeira pregadas horizontalmente uma a outra. Desta forma, foi necessário retirar a camada de madeira remanescente (na junção entre os recipientes), tornando-as agora uma caixa única com o dobro da área anterior.

Em seu interior, foram alocados dois resistores de 30 Ω em série (cada um com potência nominal de 1 kW) drenando aproximadamente 3,6 A de corrente.

Do lado oposto da caixa, foi disposto o grupo tiristor/dissipador "flutuando" sobre a caixa, de forma a permitir que as correntes de convecção do ar não sejam bloqueadas. Para isto, utilizou-se um fuso infinito e uma rosca, podendo-se ajustar a altura desejada do dispositivo em relação ao solo da caixa. Foram tomadas as precauções de inserir materiais isolantes entre o fuso e o dissipador, se modo que os mesmos não encostassem, o que levaria a resultados errôneos, já que muito da energia térmica do dissipador seria drenada pelo fuso de ferro, já que este é um bom condutor térmico.



Figura 30 - Caixa de madeira coberta com espuma de poliuretano.

4.2.1. Simulação de um ambiente controlado

Foi visto no Capítulo 2 que, para a obtenção da temperatura de junção de um semicondutor através do modelo da Figura 10, é necessário estabelecer uma temperatura ambiente praticamente constante (já que a resistência térmica é uma grandeza que varia diretamente com a temperatura). Portanto, a intenção da *bancada térmica* é isolar o seu interior das constantes flutuações térmicas e de umidade do meio externo, criando um ambiente ótimo para a realização de testes de transferência de calor.

De modo a ampliar a vedação térmica do recipiente, foram aplicadas injeções de espuma de poliuretano sobre toda a camada externa da caixa. O poliuretano apresenta condutividade térmica de 0,02 W/m. K. Para exercício de comparação, este coeficiente é cerca de seis vezes menor do que o da madeira.

A carga resistiva no interior da caixa dissipa aproximadamente 800 W de potência quando conectada à rede (220 V).

4.2.2. Disparo do tiristor principal

Para analisar o comportamento térmico do grupo tiristor/dissipador em funcionamento, faz-se necessário recriar condições semelhantes às nominais. Desta forma, utilizou-se uma carga resistiva de 5 Ω (cuja potência nominal é de 10 kW), conectada em série com a rede (220 V) e o módulo de tiristores SKKT 162 (em configuração antiparalelo, de forma semelhante a Figura 1).

De modo a estudar o pior caso possível, estabelece-se um regime de disparo com $\alpha = 0^{\circ}$, ou seja, com pulsos constantes de corrente em ambos os *gates* dos dispositivos. Duas fontes de alimentação independentes de 5 V com impedância de saída $R_G = 10 \Omega$ foram utilizadas como circuito de acionamento dos tiristores. Lembrando que, devido a alta dissipação de potência nos resistores (aproximadamente 2 W), os mesmos possuem potência nominal de 5 W.



Figura 31 – Módulo de tiristores SKKT 162. Fonte: Semikron[11].



Figura 32 – Carga resistiva utilizada para recriar as condições nominais de corrente.

4.3. Instrumentação

Com a intenção de verificar e controlar a temperatura do ambiente interno do recipiente, implementou-se um hardware composto por: sensor de temperatura, placa de condicionamento de sinais e *driver* para acionamento do tiristor auxiliar (atuador). As seguintes seções compreendem o detalhamento de tais etapas.

4.3.1. Sensor de temperatura

A principal variável (e a única controlável) do sistema da Figura 29 é a temperatura interna do recipiente. Uma forma de obter a leitura desta grandeza é através do uso de sensores de temperatura, cuja saída apresenta uma variação em seu nível de tensão que é linearmente proporcional a variação temperatura sensoriada pelo mesmo.

O componente utilizado foi o LM35, devido ao seu baixo custo, fácil manipulação e calibração em escala Celsius. Além disto, apresenta precisão de, aproximadamente, 0,75 °C, o que é suficiente para o nível de exatidão exigida pelo experimento. No entanto, a razão primordial pela escolha deste dispositivo é sua extensa faixa de trabalho, que varia de 2 °C à 150 °C. Levando em consideração que a faixa de temperatura a ser coberta no experimento é de 22 °C a 70 °C, suas especificações são mais do que suficientes.

A relação de transdução do sensor é de 10 mV/ °C. Ou seja, para efeitos práticos, uma saída de 0,5 V significa uma temperatura de 50 °C. Portanto, nota-se que a tensão de saída é muito baixa para ser medida, devendo ser introduzida em um estágio de amplificação e condicionamento de sinal, visto na seção a seguir.



Figura 33 – Configuração utilizada pelo sensor LM35. Fonte: Datasheet LM35[12].



Figura 34 – Vista bottom do LM35. Fonte: Datasheet LM35[12].

4.3.2. Condicionamento de Sinal

Foi visto acima que o LM35 apresenta uma relação de transdução de 10 mV/ °C. Desta forma, mesmo temperaturas muito altas representariam uma saída de tensão baixa. Este nível de tensão é verificado pelo microcontrolador e, a partir disto, disparase o tiristor auxiliar ou não. O problema é que, ao trabalhar com sinais muito pequenos, a chance de efetuar uma medida errônea aumenta, já que ruídos provenientes do

cabeamento e de suas indutâncias parasitas não podem ser considerados desprezíveis. A explicação da lógica entre a parte digital (microcontrolador) e o circuito atuador se encontra mais bem detalhada a partir das próximas seções.

De modo a contornar o problema exposto anteriormente, implementou-se um circuito eletrônico capaz de amplificar em 7 (sete) vezes o sinal de saída proveniente do sensor. Desta forma, para a temperatura máxima a ser medida (70 °C), tem-se o fundo de escala do microcontrolador (~5 V). Ampliando-se a excursão de sinal, aumenta-se a faixa de tensões adquiridas pelo *conversor A/D* do microcontrolador. Sabendo que o conversor foi utilizado em 8 bits (ou seja, podendo amostrar 255 tipos de valores distintos), calcula-se a sua resolução:

Resolução =
$$\frac{5,0}{2^8 - 1} \sim 0,0196 \text{ V/div}$$

O primeiro estágio de amplificação é a partir do circuito da Figura 35. A saída do sensor de temperatura equivale à entrada A1 do filtro diferencial, bem como sua referência de terra é dada em A2. Os capacitores C_A1 e C_A2 têm a função de atenuar as possíveis componentes de alta freqüência provenientes de ruídos na tensão de entrada do filtro.

O segundo estágio de amplificação é dado na Figura 36. Apesar de seu ganho ser unitário, o mesmo tem a função de realizar o acoplamento entre o filtro diferencial e o circuito de proteção do A/D da Figura 37. Um *jumper* deve ser utilizado entre os pinos 1 e 2 do conector *header* OFF_A1 de modo a introduzir potencial nulo a entrada não inversora do operacional.

O último estágio de condicionamento consiste na utilização de um circuito que protege o canal do conversor A/D contra tensões negativas e/ou maiores do que a alimentação do microcontrolador. O sinal no capacitor C_A3 é enviado ao microcontrolador, de modo a ser discretizado e amostrado.



Figura 35 – Filtro diferencial.



Figura 36 – Amplificador inversor.



Figura 37 – Circuito de proteção do A/D.

4.3.3. Driver para controle do tiristor auxiliar

Na Figura 29, mostra-se claramente a relação entre o controle (realizado pelo microcontrolador), o circuito de *driver* e o *atuador*. Como já relatado anteriormente, o processador é responsável tanto pela obtenção do valor de temperatura ambiente (proveniente do sensor LM35) quanto pela lógica de disparo do tiristor auxiliar (descrito como *atuador*).

Assim como o dispositivo da Figura 31, o atuador é composto por uma pastilha contendo dois tiristores. Estes componentes são mantidos na configuração antiparalela através da um barramento conectando o anodo de um ao catodo do outro. Como relatado na seção 4.2, o mesmo se encontra em série com a carga resistiva interna a caixa (Figura 38).

Portanto, o módulo de tiristores utilizado para esta função exerce o papel de um disjuntor. Ou seja, caso a temperatura interna da caixa se encontre menor do que a referência escolhida em tempo real pelo usuário (ver seção 4.4.2), o módulo é ligado, fechando assim o circuito e dissipando os 800 W dentro da caixa. Caso contrário, desligam-se os dispositivos, abrindo o circuito, de modo a manter a temperatura interna estabilizada.



Figura 38 – Carga resistiva interna a caixa.



Figura 39 – Módulo de tiristores auxiliar. Fonte: Semikron[11].

Dois pinos de I/O (*input/output*) do microcontrolador são utilizados para realizar o disparo dos tiristores auxiliares. Cada um destes comanda a entrada em condução de um dos dispositivos, através de seu respectivo *gate*.

O *hex buffer* 7407 é um dispositivo capaz de converter tensões de níveis TTL para MOS. Possui 6 (seis) saídas em coletor aberto e tem como função aumentar a capacidade de corrente pós-microcontrolador (já que o PIC18F4550 é capaz de fornecer no máximo 15 mA de corrente por porta) devido a sua saída transistorizada. Sua alta impedância de entrada também contribui para o aumento da isolação entre o seu sinal de saída e de entrada, protegendo o último contra injeção de ruídos.

O sinal IO1 (Figura 40) recebe o pulso advindo do processador. Caso seu nível lógico seja positivo, ou seja, 5 V, o fototransistor não se encontra polarizado, logo, sua saída IN1 é zero, já que o transistor está em estado de corte. Desta maneira, a saída OUT1 se encontra em nível lógico alto, ou seja, 24V, já que o ULN2803 apresenta saída com nível invertido em relação à entrada.

Sendo um *array* de *Darlington*, o ULN2803 é capaz de providenciar altos ganhos de corrente. No entanto, deve-se lembrar que, assim como 7407, este também apresenta saída em coletor aberto, sendo necessária a utilização de um resistor de *pull-up* entre a alimentação (24 V) e a saída OUT1 (conectada ao *gate* de um dos tiristores do módulo).

Portanto, para um nível lógico alto em IN1, a saída OUT1 apresenta tensão praticamente nula. Para nível baixo em IN1, a corrente passa pelo resistor de *pull-up* e segue em direção ao *gate*. Tal corrente é calculada da seguinte forma:

$$I_{G} = \frac{V_{cc} - V_{GK}}{R_{P}}$$
(34)

V_{cc} : tensão de alimentação do ULN2803

 V_{GK} : tensão entre *gate* e catodo no disparo

R_P : resistor de *pull-up*



Figura 40 – Hex Buffer SN7407 e optoacoplador 4N25.



Figura 41 – Diagrama de pinos e lógica do ULN2803. Fonte: Datasheet ULN2803[4].



Figura 42 - Esquemático do ULN2803.

Observações:

• O valor de COM utilizado, ao contrário do ilustrado na Figura 42, foi de 15 V, devido à disponibilidade da mesma na fonte de alimentação empregada. O resistor R_P usado foi de 68 Ω , com potência nominal de 10 W.

• De modo a não curto-circuitar o terminal anodo de um tiristor com o catodo do outro, utilizou-se duas fontes de alimentação isoladas. Desta maneira, 2 (dois) *drivers* foram empregados no disparo das 2 (duas) chaves semicondutoras. Vale lembrar que a topologia do segundo *driver* é idêntica a do primeiro.

• Os sinais IO1 de ambos os *drivers* são provenientes dos pinos 7 e 8 do microcontrolador.

4.3.4. Data logger

Com o intuito de medir tanto a temperatura ambiente quanto a do dissipador com maior precisão, utilizou-se um equipamento conhecido como *data logger*, capaz de efetuar diversas medições simultâneas através do uso de termopares.

O modelo empregado foi o TD-890 da Icel Manaus. Suas características são: 4 (quatro) canais de entrada, resolução de décimo de grau, seleção de leitura em °C, °F ou K, relógio, calendário, contador, alta confiabilidade e simplicidade de operação.

As quatro medições realizadas foram: 2 (dois) centímetros acima do dissipador, 2 (dois) centímetros abaixo do dissipador, temperatura ambiente e do dissipador. De modo a verificar a temperatura deste, furou-se o mesmo com uma pequena broca de largura necessária apenas para a passagem do termopar. Logo após, fechou-se o buraco com pasta térmica (não baseada em prata) de boa condutividade térmica e baixa condutividade elétrica. O teste durou cerca de 90 (noventa) minutos e o contador do *data logger* foi configurado de modo a obter uma amostra a cada 5 segundos.



Figura 43 - TD-890 da Icel Manaus.

4.4. PIC18F4550

A solução utilizada para embarcar o código de controle da temperatura interna foi o microcontrolador PIC18F4550 da Microchip. Suas características principais são: 33 (trinta e três) pinos de I/O, conversor A/D de 13 (treze) canais, 3 (três) interrupções externas, 4 (quatro) módulos contadores e interface compatível com USB 2.0.

A razão pelo uso deste tipo de microcontrolador é devido a sua simplicidade em termos de programação, já que o seu ambiente de desenvolvimento (CCS PICC) é mais amigável ao usuário do que outros encontrados no mercado. Outro fato importante é a qualidade da folha de dados fornecida pelo fabricante, a qual explica detalhadamente os pormenores de cada um dos periféricos internos ao processador.





4.4.1. Placa de suporte

De forma a trabalhar com o microcontrolador sem a necessidade do uso de *protoboards* e gravadores do tipo ICD2, implementou-se uma solução pessoal em placa de circuito impresso capaz de realizar tanto a gravação do código no processador (modo *bootload*) quanto a execução do mesmo.

Após a confecção da placa, é necessário utilizar uma única vez um gravador do tipo ICD2 externo para a gravação do *firmware* do *bootloader* no microcontrolador. Em seguida, conecta-se a placa ao computador, de maneira com que o sistema operacional reconheça o *firmware*, tornando o dispositivo pronto para uso. A partir daí, não será mais necessário o uso de gravadores externos, já que a gravação é feita diretamente pela USB do computador com o programa PDFSUSB.exe disponibilizado no site da Microchip.



Figura 45 – Placa de suporte do PIC18F4550.

4.4.2. Código embarcado

Para realizar a regulação da temperatura interna do recipiente da Figura 30, estabeleceu um controle *on-off* para o atuador através do microcontrolador. O fluxograma do código pode ser visto na Figura 46. Além disto, o código embarcado no processador é disponibilizado no Anexo.



Figura 46 - Fluxograma do código embarcado.

4.5. Resultados

Após todo o processo anteriormente descrito ser realizado, foi possível começar o teste. O objetivo deste teste é analisar a variação de temperatura do dissipador perante uma corrente nominal atravessando o módulo de tiristores principal. Desta maneira, após a chegada do equilíbrio térmico, é possível obter a resistência térmica do grupo tiristor/dissipador a partir da Eq. (26).

Como pode ser visto através do gráfico da Figura 47, no equilíbrio, a temperatura do dissipador T_d alcança um valor aproximadamente igual a 68°C. A temperatura ambiente (interna ao recipiente) T_a foi mantida a aproximadamente 31°C.

Desta maneira, o cálculo de Rt é dado por:

$$R_{t} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{68 - 31}{50} = 0.74^{\circ} \text{C/W}$$

Portanto, para efetuar a confecção do circuito elétrico equivalente ao comportamento do sistema em regime transitório, necessita-se ainda do valor da parcela reativa do circuito, simbolizada por um capacitor.

Sabe-se que, em um circuito RC série, a constante de tempo τ é dada pelo produto da resistência com a capacitância. Além disto, considera-se que τ seja o tempo necessário para que o capacitor se carregue com 63,2% da tensão de entrada. Este valor, de acordo com a Figura 47, é da ordem de 54 V(0,632 × [68 – 31]+31). No entanto, para t \cong 600s, a tensão no capacitor é 54 V.



Figura 47 – Gráfico da variação de temperatura no dissipador para Ta = 30°C.

Sendo assim, $C = \frac{\tau}{R} = \frac{600}{0.74} \cong 810$ F. A partir destes valores, pôde-se simular o circuito da Figura 48. Utilizou-se uma fonte de 31 V em série com a de 38 V para aplicar um *offset* no sinal, fazendo com que a tensão no capacitor já comece de 31 V, assim como o crescimento da Figura 47. A chave "ideal" S1 permanece fechada por 3000 segundos quando é aberta. Analogamente, S2 é permanece aberta até 3000 segundos, instante a partir do qual é fechada.



Figura 48 - Circuito RC simbolizando a impedância térmica do grupo tiristor/dissipador.

Este sistema permite a visualização tanto da carga quanto da descarga do capacitor. No entanto, para fins práticos, apenas o transitório de carga é interessante neste caso, de modo a obter uma comparação com a Figura 47.



Figura 49 – Tensão no capacitor utilizando-se o modelo da Figura 48.

5. Conclusão

A bancada construída mostrou ser absolutamente viável. No entanto, a utilização de espuma de poliuretano em sua superfície externa não foi uma decisão inicial do projeto, mas sim, uma adequação.

Outro fato importante é relativo aos furos feitos no recipiente de modo a atravessar os cabos da instrumentação de um lado para o outro da caixa. Notou-se que uma boa parcela de matéria (ar) vazava da caixa, inutilizando o experimento. Desta forma, aplicou-se silicone em torno dos furos, o que resolveu completamente o problema.

A instrumentação usada foi adequada para o projeto, sendo que a maior parte foi desenvolvida, enquanto que para o *driver* e o condicionamento de sinal existiam soluções que foram apenas adequadas ao novo problema.

O experimento só foi realizado para uma temperatura ambiente de 30 °C, no entanto, nada impede que seja feito para outras temperaturas. Devido à dinâmica extremamente lenta do sistema, os testes tendem a demorar cerca de duas a três horas para serem completados.

Bibliografia

[1] N. Mohan, T. M. Undeland and W. P. Robbins: "Power Electronics - Converters, Applications and Design", John Wiley & Sons, Inc., Second Ed., 1995

[2] <u>http://www.hsdissipadores.com.br/tecnologia.asp</u>

[3] Datasheet do PIC18F4550

Fonte: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf

[4] Datasheet do ULN2803

Fonte: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/U/L/N/2/ULN2803.shtml

[5] Datasheet do SN7407

Fonte: http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27351/TI/SN7407.html

[6] J.A.Pomilio: Eletrônica de Potência, DSCE – FEEC – UNICAMP, 2009

[7] Ivo Barbi: "Progress in the Development of High-Frequency nondissipative
Commutation power Converter Technologies", Power Electronics Seminar, Dec, 15-16,
1988, Florianópolis, Brazil

[8] Ivo Barbi: "Eletrônica de Potência", Florianópolis, 2000

[9] Fábio Pereira: "Microcontroladores PIC – Programação em C", 7ª edição

[10] Manual do TD-890 da Icel Manaus

[11] Datasheets do SKKT 162 e SKKT 106

Fonte: http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=SKKT162

[12] Datasheet do sensor LM35

Fonte: http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf
Anexo

Código embarcado no microcontrolador

// Autores: Thiago Americano do Brasil e Daniel Mendes

#include <18f4550.h>

#device adc=8

#include "usb_bootloader.h"

#use delay(clock=12000000)

#include <usb_cdc.h>

#include <serial_wireless.h>

#fuses HS,NOWDT,PUT,NOBROWNOUT

#include <stdlib.h>

int8 num;

int8 ref;

#BYTE CVRCON = 0xFB5

#BIT CVR0 = CVRCON.1

#BIT CVR1 = CVRCON.2

#BIT CVR2 = CVRCON.3

#BIT CVR3 = CVRCON.4

#BIT CVRSS = CVRCON.5

#BIT CVRR = CVRCON.6

#BIT CVROE = CVRCON.7

#BIT CVREN = CVRCON.8

```
void get_string(char* s, int max);
```

void main()

{

char letra;

char addr;

char string[30];

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

setup_ADC_ports(AN0_TO_AN1_ANALOG|VREF_VDD); // Canais 0 e 1 analógicos

CVR0 = 1; // CVR1 = 0; // CVR2 = 0; // CVR3 = 0; // Seta VRef- = 1.47V CVRSS = 0;// CVRR = 1; // CVROE = 1;// CVREN = 1;//

output_low(pin_a4); // Tiristor auxiliar 1 não disparado output_low(pin_a5); // Tiristor auxiliar 2 não disparado

usb_init();

```
while(!usb_cdc_connected()) // Aguarda conexão do software do PC
{
    usb_task(); // Tarefa de verificação do USB
}
```

```
while(true)
```

```
{
usb_task();
letra = usb_cdc_getc(); // Leitura do caractere digitado no teclado
switch (letra)
    {
    case 'r':
        {
            printf(usb_cdc_putc,"valor de referencia em graus:");
            get_string(string,30);
            addr = atoi(string);
            printf(usb_cdc_putc,"referencia = %u\r\n",addr);
            ref = addr;
            break;
        }
        case 't':
```

{

set_adc_channel(1); // Especifica qual será o próximo canal a ser lido via
read_adc()

```
delay_us(50);
```

```
num = read_adc(); // Coversão A/D do canal 1
num = (num*0.188)+22; // Transforma de byte em temperatura
num = (int8) num;
```

```
if (num>=(ref))
     {
     output_low(pin_a4);
     output_low(pin_a5);
     }
   if ((num<(ref))&&(!input(pin_a4)))
     {
     output_high(pin_a4); // Dispara tiristor auxiliar 1
     output_high(pin_a5); // Dispara tiristor auxiliar 2
     }
   printf(usb_cdc_putc,"temperatura = %u\r\n",num);
   break;
 }
}
```

```
void get_string(char* s, int max)
{
    int len;
    char c;
```

}

}

```
--max;
len=0;
do
{
 c=usb_cdc_getc();
 if(c==8) // Backspace
 {
  if(len>0)
   {
    len--;
    usb_cdc_putc(c);
    usb_cdc_putc(' ');
    usb_cdc_putc(c);
   }
 }
 else if ((c>=' ')&&(c<='~'))
  if(len<max)
  {
   s[len++]=c;
   usb_cdc_putc(c);
  }
}
while(c!=13);
s[len]=0;
```

}

Tabela com os dados obtidos

2010/04/10_16:30:40

	T1	MAX	MIN	T2	MAX	MIN
	Temp.Ambiente	31,3	28,9	Temp.Dissipador	69,1	29,1
		05:17:55	04:44:15		05:49:10	04:44:05
Time	T1		Туре	T2		Туре
04:43:40	29,3	°C	К	29,2	°C	К
04:43:45	29,3	°C	К	29,3	°C	К
04:43:50	29,2	°C	К	29,8	°C	К
04:43:55	29,4	°C	К	29,5	°C	К
04:44:00	29,4	°C	К	29,5	°C	К
04:44:05	29,5	°C	К	29,1	°C	К
04:44:10	29,4	°C	К	29,4	°C	К
04:44:15	28,9	°C	К	30,3	°C	К
04:44:20	29,2	°C	К	30,8	°C	К
04:44:25	29,5	°C	К	30,5	°C	К
04:44:30	29,5	°C	К	30,6	°C	К
04:44:35	29,4	°C	К	31,2	°C	К
04:44:40	29,1	°C	К	32	°C	К
04:44:45	29,4	°C	К	32,8	°C	К
04:44:50	29,6	°C	К	32,4	°C	К
04:44:55	29,4	°C	К	32,2	°C	К
04:45:00	29,1	°C	К	33	°C	К
04:45:05	29,3	°C	К	34,4	°C	К
04:45:10	29,6	°C	К	33,8	°C	К
04:45:15	29,5	°C	К	33,1	°C	К
04:45:20	29,1	°C	К	34,3	°C	К
04:45:25	29,6	°C	К	34,8	°C	К
04:45:30	29,5	°C	К	33,9	°C	К
04:45:35	29,2	°C	К	34,7	°C	К
04:45:40	29,4	°C	К	35,8	°C	К
04:45:45	29,7	°C	К	34,9	°C	К
04:45:50	29,5	°C	К	35	°C	К

04:45:55	29,3 °C	Κ	36,5	°C K
04:46:00	29,7 °C	Κ	36,1	°C K
04:46:05	29,5 °C	Κ	35,5	°C K
04:46:10	29,3 °C	Κ	36,3	°C K
04:46:15	29,3 °C	Κ	37,2	°C K
04:46:20	29,7 °C	Κ	37	°C K
04:46:25	29,7 °C	Κ	36,5	°C K
04:46:30	29,4 °C	Κ	36,8	°C K
04:46:35	29,4 °C	Κ	38	°C K
04:46:40	29,7 °C	Κ	37,9	°C K
04:46:45	29,7 °C	Κ	38	°C K
04:46:50	29,8 °C	Κ	38,2	°C K
04:46:55	29,5 °C	Κ	37,7	°C K
04:47:00	29,5 °C	Κ	37,9	°C K
04:47:05	29,4 °C	Κ	39,2	°C K
04:47:10	29,7 °C	Κ	38,1	°C K
04:47:15	29,2 °C	Κ	39,3	°C K
04:47:20	29,7 °C	Κ	39,7	°C K
04:47:25	29,8 °C	Κ	38,8	°C K
04:47:30	29,8 °C	Κ	38,7	°C K
04:47:35	29,7 °C	Κ	39	°C K
04:47:40	29,8 °C	Κ	39,2	°C K
04:47:45	29,7 °C	Κ	39,2	°C K
04:47:50	29,5 °C	Κ	39,8	°C K
04:47:55	29,7 °C	Κ	41	°C K
04:48:00	29,7 °C	Κ	39,6	°C K
04:48:05	29,6 °C	Κ	41,3	°C K
04:48:10	29,9 °C	Κ	40,8	°C K
04:48:15	29,8 °C	Κ	40,1	°C K
04:48:20	29,7 °C	Κ	40,7	°C K
04:48:25	29,5 °C	Κ	41,1	°C K
04:48:30	29,6 °C	Κ	41,3	°C K
04:48:35	29,5 °C	Κ	42,1	°C K

04:48:40	29,6	°C	К	42,4	°C	K
04:48:45	29,8	°C	К	41	°C	K
04:48:50	29,7	°C	К	42,9	°C	K
04:48:55	29,8	°C	К	41,6	°C	K
04:49:00	29,6	°C	К	42	°C	K
04:49:05	29,5	°C	K	43,1	°C	K
04:49:10	29,6	°C	K	43,2	°C	K
04:49:15	29,8	°C	K	43,1	°C	K
04:49:20	30	°C	К	43	°C	K
04:49:25	29,9	°C	К	42,4	°C	K
04:49:30	29,5	°C	К	43,1	°C	K
04:49:35	30	°C	K	43,4	°C	K
04:49:40	29,6	°C	K	42,8	°C	K
04:49:45	30	°C	К	44,3	°C	K
04:49:50	29,7	°C	K	43,3	°C	K
04:49:55	29,7	°C	К	44,6	°C	K
04:50:00	29,8	°C	K	44,7	°C	K
04:50:05	29,9	°C	К	44,8	°C	K
04:50:10	30	°C	К	44,7	°C	K
04:50:15	30	°C	К	44,7	°C	K
04:50:20	30,1	°C	K	44	°C	K
04:50:25	29,7	°C	K	44,7	°C	K
04:50:30	30,1	°C	K	44,3	°C	K
04:50:35	29,5	°C	K	45,6	°C	K
04:50:40	30,2	°C	K	44,7	°C	K
04:50:45	29,7	°C	К	45,3	°C	K
04:50:50	29,9	°C	К	46,4	°C	K
04:50:55	30	°C	К	45,8	°C	K
04:51:00	30	°C	К	45,8	°C	K
04:51:05	30,1	°C	К	46,1	°C	K
04:51:10	30,1	°C	К	46	°C	K
04:51:15	30,1	°C	К	45,6	°C	K
04:51:20	29,7	°C	K	46	°C	K

04:51:25	30,3	°C	K	46,5	°C	K
04:51:30	29,9	°C	К	45,9	°C	K
04:51:35	29,9	°C	К	47,3	°C	K
04:51:40	30,2	°C	К	46,1	°C	K
04:51:45	29,8	°C	К	46,6	°C	K
04:51:50	29,7	°C	К	47,4	°C	K
04:51:55	29,8	°C	К	48	°C	K
04:52:00	30,2	°C	К	47,8	°C	K
04:52:05	30,3	°C	К	47,5	°C	K
04:52:10	30,3	°C	К	46,9	°C	K
04:52:15	30	°C	К	47,6	°C	K
04:52:20	30,3	°C	К	47,6	°C	K
04:52:25	29,9	°C	К	47,9	°C	К
04:52:30	30,1	°C	К	48,6	°C	K
04:52:35	30,3	°C	К	47,9	°C	К
04:52:40	30,1	°C	К	47,6	°C	K
04:52:45	29,9	°C	К	48,3	°C	К
04:52:50	29,9	°C	К	49,4	°C	K
04:52:55	30,2	°C	к	49,2	°C	K
04:53:00	30,1	°C	К	48,3	°C	K
04:53:05	29,8	°C	K	48,7	°C	K
04:53:10	30	°C	К	49,7	°C	К
04:53:15	30	°C	К	48,3	°C	К
04:53:20	29,8	°C	K	50,3	°C	K
04:53:25	30,4	°C	K	48,7	°C	K
04:53:30	30,1	°C	К	49	°C	К
04:53:35	30	°C	К	49,3	°C	К
04:53:40	29,9	°C	К	49,4	°C	K
04:53:45	29,8	°C	К	50,6	°C	K
04:53:50	30,2	°C	К	50	°C	K
04:53:55	29,9	°C	К	49,5	°C	K
04:54:00	29,8	°C	К	51,2	°C	K
04:54:05	30,2	°C	К	50,4	°C	K

04:54:10	30,1	°C	К	49,8	°C	K
04:54:15	29,9	°C	К	51,2	°C	K
04:54:20	30,2	°C	К	51,3	°C	K
04:54:25	30,3	°C	К	50,1	°C	K
04:54:30	30	°C	К	50,4	°C	K
04:54:35	29,9	°C	К	51,5	°C	K
04:54:40	30,3	°C	К	51,1	°C	K
04:54:45	30,2	°C	К	50,4	°C	K
04:54:50	29,9	°C	К	51	°C	K
04:54:55	29,9	°C	К	52	°C	K
04:55:00	30,1	°C	К	52	°C	K
04:55:05	30,2	°C	К	51,8	°C	K
04:55:10	30,2	°C	K	51	°C	K
04:55:15	29,9	°C	К	51,8	°C	K
04:55:20	30,3	°C	K	52,4	°C	K
04:55:25	30,2	°C	К	51,3	°C	K
04:55:30	29,9	°C	K	52	°C	K
04:55:35	29,9	°C	К	52,9	°C	K
04:55:40	30	°C	K	53,2	°C	K
04:55:45	30,3	°C	К	53	°C	K
04:55:50	30,5	°C	K	52,8	°C	K
04:55:55	30,4	°C	K	52,7	°C	K
04:56:00	30,3	°C	К	52,1	°C	K
04:56:05	30	°C	K	52,5	°C	K
04:56:10	30,3	°C	K	53,8	°C	K
04:56:15	30,3	°C	К	52,4	°C	K
04:56:20	30	°C	K	53,9	°C	K
04:56:25	30,4	°C	К	53,4	°C	K
04:56:30	30,3	°C	К	52,7	°C	K
04:56:35	30,2	°C	K	53	°C	K
04:56:40	30,1	°C	К	53,4	°C	K
04:56:45	30,2	°C	К	54,3	°C	K
04:56:50	30,5	°C	К	53,5	°C	K

04:56:55	30,2 °	°C K	53,4	°C K
04:57:00	30,1 °	°C K	55	°C K
04:57:05	30,4 °	°C K	53,5	°C K
04:57:10	30,2	°C K	53,7	°C K
04:57:15	30 °	°C K	54,9	°C K
04:57:20	30,2 °	°C K	54,9	°C K
04:57:25	30,4 °	°C K	54,7	°C K
04:57:30	30,6 °	°C K	54,6	°C K
04:57:35	30,5 °	°C K	54,3	°C K
04:57:40	30,5 °	°C K	54,3	°C K
04:57:45	30,3 °	°C K	54,4	°C K
04:57:50	30 °	°C K	54,9	°C K
04:57:55	30,4 °	°C K	55,6	°C K
04:58:00	30,5 °	°C K	54,6	°C K
04:58:05	30,2 °	°C K	54,9	°C K
04:58:10	30,1 °	°C K	55,8	°C K
04:58:15	30,3 °	°C K	56,3	°C K
04:58:20	30,6 [°]	°C K	55,7	°C K
04:58:25	30,5 °	°C K	55,5	°C K
04:58:30	30,4 °	°C K	55,1	°C K
04:58:35	30,3 °	°C K	55,1	°C K
04:58:40	30,2 °	°C K	56,8	°C K
04:58:45	30,5 °	°C K	55,2	°C K
04:58:50	30,1 °	°C K	56,1	°C K
04:58:55	30,6 [°]	°C K	56,1	°C K
04:59:00	30,4 °	°C K	55,4	°C K
04:59:05	30,2 °	°C K	56,1	°C K
04:59:10	30,2 °	°C K	56,8	°C K
04:59:15	30,5 °	°C K	56,8	°C K
04:59:20	30,7 °	°C K	56,5	°C K
04:59:25	30,5 °	°C K	56,1	°C K
04:59:30	30,5 °	°C K	55,8	°C K
04:59:35	30,3 [°]	°C K	56,2	°C K

04:59:40	30,2	°C K	57,7	°C K
04:59:45	30,7	°C K	56,8	°C K
04:59:50	30,5	°C K	56,1	°C K
04:59:55	30,3	°C K	57	°C K
05:00:00	30,5	°C K	57,5	°C K
05:00:05	30,7	°C K	57,1	°C K
05:00:10	30,6	°C K	56,8	°C K
05:00:15	30,6	°C K	56,7	°C K
05:00:20	30,5	°C K	57	°C K
05:00:25	30,3	°C K	57,8	°C K
05:00:30	30,7	°C K	58	°C K
05:00:35	30,4	°C K	57,1	°C K
05:00:40	30,2	°C K	58,2	°C K
05:00:45	30,7	°C K	58,1	°C K
05:00:50	30,6	°C K	57,2	°C K
05:00:55	30,5	°C K	57,3	°C K
05:01:00	30,3	°C K	58,6	°C K
05:01:05	30,6	°C K	58,5	°C K
05:01:10	30,6	°C K	57,9	°C K
05:01:15	30,5	°C K	57,6	°C K
05:01:20	30,3	°C K	58,1	°C K
05:01:25	30,3	°C K	58,5	°C K
05:01:30	30,3	°C K	58,9	°C K
05:01:35	30,4	°C K	59,3	°C K
05:01:40	30,7	°C K	58,6	°C K
05:01:45	30,8	°C K	57,9	°C K
05:01:50	30,4	°C K	59,4	°C K
05:01:55	30,9	°C K	57,6	°C K
05:02:00	30,5	°C K	59,4	°C K
05:02:05	30,6	°C K	57,9	°C K
05:02:10	30,4	°C K	59,4	°C K
05:02:15	30,6	°C K	59,4	°C K
05:02:20	30,7	°C K	59,3	°C K

05:02:25	30,6	°C	K	59,6	°C	K
05:02:30	30,9	°C	К	59,3	°C	K
05:02:35	30,8	°C	К	58,7	°C	K
05:02:40	30,3	°C	K	59,2	°C	K
05:02:45	30,9	°C	K	59,9	°C	K
05:02:50	30,4	°C	K	58,9	°C	K
05:02:55	30,4	°C	K	60,3	°C	К
05:03:00	30,8	°C	K	59,6	°C	К
05:03:05	30,8	°C	K	59	°C	K
05:03:10	30,7	°C	K	58,9	°C	K
05:03:15	30,7	°C	K	59,1	°C	K
05:03:20	30,6	°C	K	59,2	°C	K
05:03:25	30,3	°C	K	59,9	°C	K
05:03:30	30,6	°C	K	60,6	°C	K
05:03:35	30,9	°C	K	59,7	°C	К
05:03:40	30,7	°C	K	59,4	°C	K
05:03:45	30,4	°C	K	60,6	°C	K
05:03:50	30,7	°C	K	60,8	°C	K
05:03:55	30,8	°C	K	59,5	°C	K
05:04:00	30,4	°C	K	60,3	°C	K
05:04:05	30,8	°C	K	60,4	°C	K
05:04:10	30,7	°C	K	59,6	°C	K
05:04:15	30,5	°C	K	60,3	°C	K
05:04:20	30,5	°C	K	61	°C	К
05:04:25	30,7	°C	K	61,1	°C	К
05:04:30	30,8	°C	K	60,4	°C	K
05:04:35	30,7	°C	K	59,8	°C	K
05:04:40	30,5	°C	К	61,3	°C	K
05:04:45	30,7	°C	К	61,2	°C	K
05:04:50	31	°C	К	60,3	°C	K
05:04:55	30,7	°C	K	60,4	°C	K
05:05:00	30,5	°C	K	61,6	°C	K
05:05:05	30,8	°C	К	61	°C	K

30,8 °C	K	60,4	°C K
30,6 °C	Κ	60,6	°C K
30,5 °C	Κ	61,3	°C K
30,5 °C	Κ	62,1	°C K
30,7 °C	Κ	61,3	°C K
30,8 °C	Κ	60,7	°C K
30,4 °C	Κ	61	°C K
30,5 °C	Κ	62	°C K
30,9 °C	Κ	61,9	°C K
30,9 °C	Κ	61,2	°C K
30,9 °C	Κ	60,8	°C K
30,6 °C	Κ	61,2	°C K
30,7 °C	Κ	62,2	°C K
30,9 °C	Κ	61,1	°C K
30,5 °C	Κ	61,4	°C K
30,5 °C	Κ	62,5	°C K
30,8 °C	Κ	62,1	°C K
30,8 °C	Κ	61,3	°C K
30,8 °C	Κ	61,2	°C K
30,8 °C	Κ	61,4	°C K
30,6 °C	Κ	61,7	°C K
30,7 °C	Κ	62,5	°C K
30,8 °C	Κ	61,5	°C K
30,4 °C	Κ	62	°C K
30,9 °C	Κ	62,7	°C K
30,9 °C	Κ	61,5	°C K
30,6 °C	Κ	61,8	°C K
30,6 °C	Κ	62,9	°C K
30,7 °C	Κ	62,8	°C K
30,9 °C	Κ	62,6	°C K
30,9 °C	Κ	61,9	°C K
30,6 °C	Κ	61,9	°C K
30,8 °C	Κ	63,2	°C K
	30,8 °C 30,6 °C 30,5 °C 30,7 °C 30,8 °C 30,8 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,6 °C 30,5 °C 30,8 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,9 °C 30,9 °C	30,8 °C K 30,6 °C K 30,5 °C K 30,7 °C K 30,9 °C K 30,5 °C K 30,5 °C K 30,5 °C K 30,6 °C K 30,8 °C K 30,8 °C K 30,7 °C K 30,8 °C K 30,9 °C K 30,9 °C K 30,9 °C K 30,6 <	30,8 °C K 60,4 30,6 °C K 60,6 30,5 °C K 61,3 30,7 °C K 61,3 30,8 °C K 60,7 30,4 °C K 61 30,5 °C K 61,3 30,8 °C K 60,7 30,4 °C K 61 30,5 °C K 61,9 30,9 °C K 61,2 30,9 °C K 61,2 30,7 °C K 62,2 30,9 °C K 61,1 30,5 °C K 62,2 30,7 °C K 62,2 30,8 °C K 61,1 30,5 °C K 62,1 30,8 °C K 61,2 30,8 °C K 61,2 30,8 °C K 61,2 30,8 °C K 61,2 30,8 °C K 61,7 30,6 °C K 61,7 30,7 °C K 62,5 30,8 °C K 61,5

05:07:55	30,8	°C	K	61,9 °C	K
05:08:00	30,6	°C	К	62,1 °C	K
05:08:05	30,5	°C	К	63,3 °C	K
05:08:10	30,9	°C	К	62,8 °C	K
05:08:15	30,7	°C	К	62,3 °C	Κ
05:08:20	30,7	°C	К	62,3 °C	Κ
05:08:25	31	°C	К	62,8 °C	Κ
05:08:30	31	°C	К	62,8 °C	Κ
05:08:35	30,9	°C	К	62,8 °C	Κ
05:08:40	31	°C	К	62,3 °C	Κ
05:08:45	30,9	°C	К	62,3 °C	Κ
05:08:50	30,5	°C	К	63,5 °C	Κ
05:08:55	31	°C	К	62,3 °C	Κ
05:09:00	30,7	°C	К	62,9 °C	Κ
05:09:05	30,8	°C	К	64,1 °C	K
05:09:10	31,1	°C	К	62,9 °C	Κ
05:09:15	31	°C	К	62,5 °C	K
05:09:20	30,8	°C	К	62,7 °C	Κ
05:09:25	30,4	°C	К	63,3 °C	Κ
05:09:30	30,8	°C	К	63,8 °C	Κ
05:09:35	30,9	°C	К	63,5 °C	Κ
05:09:40	30,9	°C	К	63,1 °C	K
05:09:45	30,9	°C	К	62,9 °C	Κ
05:09:50	30,8	°C	К	62,7 °C	K
05:09:55	30,6	°C	К	63,5 °C	Κ
05:10:00	30,8	°C	К	64,1 °C	Κ
05:10:05	30,9	°C	К	62,8 °C	Κ
05:10:10	30,7	°C	К	63,4 °C	Κ
05:10:15	30,7	°C	К	64,7 °C	Κ
05:10:20	31	°C	К	63,3 °C	Κ
05:10:25	30,7	°C	К	63,2 °C	Κ
05:10:30	30,6	°C	К	64,4 °C	Κ
05:10:35	31	°C	К	63,9 °C	Κ

30,8	°C	К	63,2	°C	K
30,6	°C	К	63,4	°C	K
30,5	°C	К	63,8	°C	K
30,7	°C	K	64,5	°C	K
30,9	°C	K	63,4	°C	K
30,7	°C	К	63,5	°C	K
30,6	°C	K	64,8	°C	K
31,1	°C	K	64	°C	K
30,8	°C	К	63,3	°C	K
30,5	°C	K	63,9	°C	K
30,6	°C	К	64,9	°C	K
31	°C	K	64,7	°C	K
31,1	°C	K	64,2	°C	K
31,1	°C	K	63,8	°C	K
31	°C	K	63,4	°C	K
30,9	°C	K	63,8	°C	K
30,5	°C	K	65,1	°C	K
31	°C	K	64,8	°C	K
31	°C	K	63,8	°C	K
30,7	°C	K	63,9	°C	K
30,9	°C	K	65,1	°C	K
31,1	°C	K	64,1	°C	K
30,9	°C	K	63,9	°C	К
30,5	°C	K	64,8	°C	K
30,9	°C	K	65,1	°C	K
31,1	°C	K	64,4	°C	K
31	°C	K	64,1	°C	K
30,8	°C	К	64,1	°C	K
30,7	°C	К	65,3	°C	K
31	°C	К	65,1	°C	K
31	°C	К	64,1	°C	K
30,8	°C	К	64,2	°C	K
30,8	°C	К	65,4	°C	K
	30,8 30,6 30,7 30,9 30,7 30,6 31,1 30,8 30,5 30,6 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31	30,8 °C 30,6 °C 30,7 °C 30,7 °C 30,7 °C 30,6 °C 31,1 °C 30,8 °C 30,5 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 30,5 °C 31,1 °C 30,5 °C 31,1 °C 30,7 °C 30,7 °C 30,9 °C 31,1 °C 30,9 °C 31,1 °C 30,9 °C 31,1 °C 30,9 °C 31,1 °C 30,9 °C 31,1 °C	30,8 °C K 30,6 °C K 30,7 °C K 30,7 °C K 30,7 °C K 30,7 °C K 30,6 °C K 31,1 °C K 30,8 °C K 30,6 °C K 30,6 °C K 31,1 °C K 31,1 °C K 31,1 °C K 31,1 °C K 31,1 °C K 30,5 °C K 30,5 °C K 30,5 °C K 30,7 °C K 30,9 °C K 31,1 °C K 30,8 °C K 30,8 °C K 30,8 °C K	$30,8 \ ^{\circ}C$ K $63,2$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $63,4$ $30,5 \ ^{\circ}C$ K $64,5$ $30,9 \ ^{\circ}C$ K $63,4$ $30,7 \ ^{\circ}C$ K $63,4$ $30,7 \ ^{\circ}C$ K $63,5$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $64,8$ $31,1 \ ^{\circ}C$ K $64,3$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $63,3$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $63,3$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $63,4$ $30,6 \ ^{\circ}C$ K $64,9$ $31 \ ^{\circ}C$ K $64,7$ $31,1 \ ^{\circ}C$ K $64,2$ $31,1 \ ^{\circ}C$ K $63,8$ $30,9 \ ^{\circ}C$ K $63,8$ $30,9 \ ^{\circ}C$ K $63,8$ $30,7 \ ^{\circ}C$ K $63,9$ $30,9 \ ^{\circ}C$ K $63,9$	30,8 °C K 63,2 °C 30,6 °C K 63,4 °C 30,7 °C K 63,8 °C 30,7 °C K 63,4 °C 30,9 °C K 63,4 °C 30,7 °C K 63,4 °C 30,9 °C K 63,4 °C 30,7 °C K 63,4 °C 30,6 °C K 63,3 °C 30,8 °C K 64,8 °C 31,1 °C K 64,9 °C 30,6 °C K 63,9 °C 30,6 °C K 64,9 °C 30,6 °C K 64,9 °C 31,1 °C K 64,7 °C 31,1 °C K 64,8 °C 31,1 °C K 64,8 °C 30,9 °C K 63,8 °C 30,9 °C K 63,8 °C 30,7 °C K 63,8 °C 30,9 °C K 63,9 °C 30,9 °C K 63,9 °C 30,9 °C K 64,1 °C 30,9 °C K 64,1 °C 30,9 °C K 64,1 °C

05:13:25	30,9	°C	К	65,4	°C	K
05:13:30	31	°C	К	65,2	°C	K
05:13:35	31	°C	К	65	°C	K
05:13:40	31	°C	К	64,2	°C	K
05:13:45	30,8	°C	К	64,4	°C	K
05:13:50	30,9	°C	К	65,5	°C	K
05:13:55	31,1	°C	K	64,4	°C	K
05:14:00	30,7	°C	К	64,5	°C	K
05:14:05	30,8	°C	K	65,9	°C	K
05:14:10	31,1	°C	К	65	°C	K
05:14:15	31,1	°C	K	64,9	°C	K
05:14:20	31,1	°C	К	64,6	°C	K
05:14:25	30,7	°C	К	64,7	°C	K
05:14:30	30,8	°C	K	65,8	°C	K
05:14:35	31,1	°C	К	64,5	°C	K
05:14:40	30,6	°C	К	65,1	°C	K
05:14:45	30,8	°C	К	65,8	°C	K
05:14:50	31,2	°C	K	64,8	°C	K
05:14:55	31,1	°C	К	64,8	°C	K
05:15:00	31,1	°C	К	64,8	°C	K
05:15:05	31	°C	K	64,6	°C	K
05:15:10	31	°C	К	64,9	°C	K
05:15:15	30,8	°C	К	66,1	°C	K
05:15:20	31,2	°C	К	64,8	°C	K
05:15:25	30,8	°C	К	65,4	°C	K
05:15:30	31,1	°C	K	65,5	°C	K
05:15:35	31	°C	K	65	°C	K
05:15:40	31	°C	К	64,7	°C	K
05:15:45	31,1	°C	К	64,7	°C	K
05:15:50	31	°C	K	64,7	°C	K
05:15:55	30,8	°C	К	65,1	°C	K
05:16:00	30,9	°C	К	65,1	°C	K
05:16:05	30,6	°C	К	66,7	°C	K

05:16:10	31	°C	K	65	°C	K
05:16:15	30,5	°C	K	66	°C	K
05:16:20	31,2	°C	К	65,7	°C	K
05:16:25	30,7	°C	К	65,5	°C	K
05:16:30	30,9	°C	К	66,4	°C	K
05:16:35	31,1	°C	К	65,9	°C	K
05:16:40	31	°C	К	65,9	°C	K
05:16:45	31,1	°C	К	65,6	°C	K
05:16:50	31	°C	К	65,3	°C	K
05:16:55	31	°C	К	65,2	°C	K
05:17:00	31	°C	К	66,6	°C	K
05:17:05	31	°C	К	65,1	°C	K
05:17:10	30,6	°C	К	66,5	°C	K
05:17:15	31,2	°C	К	66	°C	K
05:17:20	31	°C	К	65,1	°C	K
05:17:25	30,9	°C	К	65,6	°C	K
05:17:30	30,9	°C	К	65,4	°C	K
05:17:35	30,8	°C	К	65,4	°C	K
05:17:40	30,9	°C	К	65,6	°C	K
05:17:45	30,9	°C	К	65,6	°C	K
05:17:50	30,7	°C	К	66,7	°C	K
05:17:55	31,3	°C	К	66,1	°C	K
05:18:00	30,9	°C	К	66,9	°C	K
05:18:05	31,3	°C	К	65,4	°C	K
05:18:10	30,6	°C	К	65,9	°C	K
05:18:15	31,1	°C	К	66,8	°C	K
05:18:20	31,2	°C	К	66,1	°C	K
05:18:25	31,1	°C	К	65,8	°C	K
05:18:30	31,2	°C	К	65,6	°C	K
05:18:35	31,1	°C	К	65,6	°C	K
05:18:40	31	°C	К	65,7	°C	K
05:18:45	30,8	°C	К	66,3	°C	K
05:18:50	31	°C	К	66,9	°C	K

05:18:55	31,1	°C	K	65,6	°C	K
05:19:00	30,8	°C	К	66,1	°C	K
05:19:05	30,9	°C	К	67,1	°C	K
05:19:10	31	°C	К	66,7	°C	K
05:19:15	31,1	°C	К	66,5	°C	K
05:19:20	31,2	°C	К	66,4	°C	K
05:19:25	31,2	°C	К	66,1	°C	K
05:19:30	31,1	°C	K	65,8	°C	K
05:19:35	30,9	°C	K	66	°C	K
05:19:40	30,9	°C	K	67,4	°C	K
05:19:45	31,1	°C	К	65,7	°C	K
05:19:50	30,9	°C	К	67,1	°C	K
05:19:55	31,1	°C	К	65,7	°C	K
05:20:00	30,9	°C	К	66	°C	K
05:20:05	30,8	°C	К	66,4	°C	K
05:20:10	30,7	°C	К	67,1	°C	K
05:20:15	30,8	°C	К	66,8	°C	K
05:20:20	30,9	°C	К	66,9	°C	K
05:20:25	31	°C	К	66,6	°C	K
05:20:30	31	°C	К	65,9	°C	K
05:20:35	30,6	°C	К	66,6	°C	K
05:20:40	30,9	°C	K	67,2	°C	K
05:20:45	31	°C	К	65,7	°C	K
05:20:50	30,8	°C	K	67,2	°C	K
05:20:55	31,1	°C	К	66,6	°C	K
05:21:00	30,9	°C	К	65,8	°C	K
05:21:05	30,8	°C	К	66,2	°C	K
05:21:10	30,6	°C	К	66,5	°C	K
05:21:15	30,8	°C	К	67,2	°C	K
05:21:20	30,8	°C	К	67,2	°C	K
05:21:25	31,2	°C	К	66,4	°C	K
05:21:30	30,7	°C	К	66,1	°C	K
05:21:35	30,9	°C	К	67,2	°C	K

31,2	°C	К	66	°C	K
30,8	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	К	66,2	°C	K
31,2	°C	К	66,2	°C	K
31	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	К	66,1	°C	K
31	°C	К	66,2	°C	K
31	°C	К	67,5	°C	K
31	°C	К	66,4	°C	K
31	°C	К	67,4	°C	K
31	°C	К	66,1	°C	K
30,9	°C	К	66,5	°C	K
30,8	°C	К	66,8	°C	K
30,7	°C	К	66,9	°C	K
30,8	°C	К	67,6	°C	K
31	°C	К	66,8	°C	K
31,1	°C	К	66,3	°C	K
30,9	°C	К	66,4	°C	K
30,7	°C	K	67	°C	K
31,2	°C	К	66,4	°C	K
30,6	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	К	67	°C	K
30,8	°C	К	66,5	°C	K
30,7	°C	К	67,5	°C	K
30,8	°C	К	67,3	°C	K
30,7	°C	К	67,6	°C	K
30,9	°C	К	67,5	°C	K
31,1	°C	К	67	°C	K
31	°C	К	66,2	°C	K
30,6	°C	К	66,9	°C	K
31,1	°C	K	67,3	°C	K
	31,2 30,8 31,1 31,1 31,2 31 31,1 31,1 31 31 31 31 31,3 30,9 30,8 30,7 30,8 31,1 30,9 30,8 31,1 30,9 30,7 30,8 31,1 30,9 30,7 30,8 31,1 31,1 30,9 30,7 30,8 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31	31,2 °C 30,8 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,2 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 31,1 °C 30,8 °C 30,8 °C 30,8 °C 30,8 °C 30,7 °C 30,8 °C 31,1 °C 30,9 °C 30,7 °C 30,8 °C 31,1 °C 30,8 °C 31,1 °C 30,8 °C 31,1 °C 30,8 °C 31,1 °C 30,8 °C 31,1 °C	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	31,2 °C K 66,9 31,1 °C K 66,9 31,1 °C K 66,2 31,2 °C K 66,2 31,2 °C K 66,2 31,1 °C K 66,2 31,1 °C K 66,9 31,1 °C K 66,9 31,1 °C K 66,1 31 °C K 66,2 31 °C K 66,2 31,1 °C K 66,2 31,1 °C K 66,2 31 °C K 66,4 31 °C K 66,5 30,8 °C K 66,8 30,7 °C K 66,3 31,1 °C K 66,4 30,7 °C K 66,4 30,7 °C K 66,4 30,7 °C K 66,4 30,7 °C K	31,2 °C K 66 °C 30,8 °C K 66,9 °C 31,1 °C K 66,2 °C 31,1 °C K 66,2 °C 31,1 °C K 66,2 °C 31,1 °C K 66,9 °C 31,1 °C K 66,1 °C 31,1 °C K 66,2 °C 31,1 °C K 66,1 °C 31,1 °C K 66,4 °C 31 °C K 66,4 °C 31 °C K 66,4 °C 31 °C K 66,8 °C 30,9 °C K 66,8 °C 30,7 °C K 66,8 °C 30,8 °C K 66,8 °C 31,1 °C K 66,4 °C 30,7 °C K 66,4 °C 30,7

05:24:25	30,9	°C	К	66,4	°C	K
05:24:30	30,9	°C	К	66,6	°C	K
05:24:35	30,7	°C	К	67,8	°C	K
05:24:40	31	°C	К	67,3	°C	K
05:24:45	31,2	°C	К	66,9	°C	K
05:24:50	31	°C	К	66,3	°C	K
05:24:55	30,7	°C	К	66,7	°C	K
05:25:00	31	°C	К	67,6	°C	K
05:25:05	31	°C	К	66,4	°C	K
05:25:10	30,9	°C	К	66,7	°C	K
05:25:15	30,9	°C	К	68,2	°C	K
05:25:20	31,1	°C	К	67,1	°C	K
05:25:25	31	°C	К	66,4	°C	K
05:25:30	30,6	°C	К	67,2	°C	K
05:25:35	30,9	°C	K	67,6	°C	K
05:25:40	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:25:45	31	°C	К	66,4	°C	K
05:25:50	30,8	°C	К	66,8	°C	K
05:25:55	30,8	°C	К	67,9	°C	K
05:26:00	31,1	°C	К	67,4	°C	K
05:26:05	31,1	°C	K	66,7	°C	K
05:26:10	31	°C	K	66,5	°C	K
05:26:15	30,8	°C	К	67,2	°C	K
05:26:20	30,8	°C	К	68	°C	K
05:26:25	31,1	°C	К	67,4	°C	K
05:26:30	30,8	°C	К	66,6	°C	K
05:26:35	30,8	°C	К	68,3	°C	K
05:26:40	31	°C	К	67,4	°C	K
05:26:45	31	°C	К	66,8	°C	K
05:26:50	31,1	°C	К	66,9	°C	K
05:26:55	31	°C	К	66,9	°C	K
05:27:00	31,1	°C	К	66,7	°C	K
05:27:05	30,9	°C	K	66,8	°C	K

05:27:10	30,9	°C	К	68	°C	K
05:27:15	31,1	°C	К	66,8	°C	K
05:27:20	30,8	°C	К	66,9	°C	K
05:27:25	30,7	°C	К	68	°C	K
05:27:30	31	°C	К	67,5	°C	K
05:27:35	31,1	°C	К	67,4	°C	K
05:27:40	31	°C	К	67,4	°C	K
05:27:45	31,1	°C	К	66,9	°C	K
05:27:50	31,1	°C	К	66,6	°C	K
05:27:55	30,9	°C	K	67	°C	K
05:28:00	30,7	°C	К	68	°C	K
05:28:05	31,1	°C	K	67,3	°C	K
05:28:10	30,6	°C	К	67,3	°C	K
05:28:15	30,8	°C	К	68	°C	К
05:28:20	31,2	°C	К	66,9	°C	K
05:28:25	30,8	°C	К	67	°C	K
05:28:30	30,6	°C	К	68	°C	K
05:28:35	30,8	°C	К	68,4	°C	K
05:28:40	30,8	°C	К	68	°C	K
05:28:45	31,2	°C	К	67,6	°C	K
05:28:50	31,2	°C	К	67,5	°C	K
05:28:55	31,1	°C	K	67	°C	K
05:29:00	31,1	°C	К	67,1	°C	K
05:29:05	31,1	°C	K	66,8	°C	K
05:29:10	30,6	°C	К	67,5	°C	K
05:29:15	31,2	°C	К	67,7	°C	K
05:29:20	30,8	°C	К	67	°C	K
05:29:25	30,8	°C	К	68,1	°C	K
05:29:30	31,2	°C	К	67,1	°C	K
05:29:35	31,1	°C	K	67	°C	K
05:29:40	31,1	°C	K	67,1	°C	К
05:29:45	31,2	°C	K	67,2	°C	К
05:29:50	31,1	°C	К	67	°C	K

05:29:55	31,1	°C	К	67	°C	K
05:30:00	31	°C	К	67	°C	K
05:30:05	30,8	°C	К	68,3	°C	K
05:30:10	31,1	°C	К	67,7	°C	K
05:30:15	31	°C	K	67,1	°C	K
05:30:20	30,9	°C	K	68,6	°C	K
05:30:25	31,2	°C	K	67,5	°C	K
05:30:30	31	°C	K	66,9	°C	K
05:30:35	31	°C	K	66,9	°C	K
05:30:40	31,1	°C	K	67	°C	K
05:30:45	31	°C	K	67,2	°C	K
05:30:50	31,1	°C	K	67,1	°C	K
05:30:55	30,9	°C	K	66,8	°C	K
05:31:00	30,6	°C	K	68,1	°C	K
05:31:05	31,2	°C	K	67,2	°C	K
05:31:10	30,7	°C	K	68,5	°C	K
05:31:15	31,1	°C	K	67	°C	K
05:31:20	30,7	°C	К	67,7	°C	K
05:31:25	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:31:30	31,1	°C	K	68	°C	K
05:31:35	31,1	°C	K	67,8	°C	K
05:31:40	31,2	°C	K	67,6	°C	K
05:31:45	31,1	°C	К	67	°C	K
05:31:50	30,9	°C	K	67,3	°C	K
05:31:55	31,2	°C	К	67,9	°C	K
05:32:00	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:32:05	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:32:10	31,2	°C	К	67,2	°C	K
05:32:15	30,8	°C	К	67,4	°C	K
05:32:20	30,7	°C	K	67,6	°C	K
05:32:25	30,7	°C	К	67,8	°C	К
05:32:30	30,7	°C	К	67,7	°C	К
05:32:35	30,7	°C	К	68,1	°C	K

05:32:40	30,9	°C	K	68,5	°C	K
05:32:45	31,2	°C	К	67,6	°C	K
05:32:50	30,8	°C	К	67,3	°C	K
05:32:55	30,8	°C	К	68,4	°C	K
05:33:00	31	°C	К	67,1	°C	K
05:33:05	30,7	°C	К	67,5	°C	K
05:33:10	30,9	°C	К	68,3	°C	K
05:33:15	31,1	°C	К	68	°C	K
05:33:20	31,2	°C	К	67,8	°C	K
05:33:25	31,1	°C	К	68	°C	K
05:33:30	31,1	°C	К	68	°C	K
05:33:35	31,1	°C	К	67,3	°C	K
05:33:40	31	°C	К	67,3	°C	K
05:33:45	30,6	°C	К	68,5	°C	K
05:33:50	31,1	°C	К	67,1	°C	K
05:33:55	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:34:00	31,2	°C	К	67,6	°C	K
05:34:05	31	°C	К	67,2	°C	K
05:34:10	30,8	°C	К	67,7	°C	K
05:34:15	30,8	°C	К	67,7	°C	K
05:34:20	31	°C	К	67,4	°C	K
05:34:25	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:34:30	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:34:35	31,1	°C	К	67	°C	K
05:34:40	30,7	°C	К	68	°C	K
05:34:45	31	°C	К	67,8	°C	K
05:34:50	30,7	°C	К	68,2	°C	K
05:34:55	31,1	°C	К	68	°C	K
05:35:00	31	°C	К	67,3	°C	K
05:35:05	31	°C	К	67,4	°C	K
05:35:10	30,8	°C	К	67,7	°C	K
05:35:15	30,9	°C	К	67,7	°C	K
05:35:20	30,7	°C	К	67,8	°C	K

30,8	°C	К	68,6	°C	K
31,1	°C	К	68,6	°C	K
31,1	°C	К	67,3	°C	K
30,6	°C	К	67,7	°C	K
31,2	°C	К	68,3	°C	K
31	°C	К	67,4	°C	K
31	°C	К	67,4	°C	K
30,8	°C	К	67,5	°C	K
30,9	°C	К	67,8	°C	K
30,7	°C	К	67,9	°C	K
30,8	°C	К	68,6	°C	K
31,2	°C	К	68,4	°C	K
31,2	°C	К	67,4	°C	K
30,8	°C	К	67,6	°C	K
31,1	°C	К	68,7	°C	K
30,7	°C	К	67,6	°C	K
31	°C	К	68,6	°C	K
31,2	°C	К	67,9	°C	K
31,1	°C	К	67,4	°C	K
31,1	°C	К	67,4	°C	K
31,1	°C	K	67,3	°C	K
31,1	°C	К	67,1	°C	K
30,8	°C	К	67,4	°C	K
30,9	°C	К	68,6	°C	K
31,3	°C	К	67,4	°C	K
31	°C	К	67,3	°C	K
30,9	°C	К	68,5	°C	K
31,2	°C	К	68	°C	K
31,1	°C	К	67,4	°C	K
31	°C	К	67,1	°C	K
30,7	°C	K	67,3	°C	K
30,8	°C	K	68,6	°C	K
31,2	°C	К	68,1	°C	K
	30,8 31,1 31,1 30,6 31,2 31 30,8 30,9 30,7 30,8 31,2 30,8 31,2 30,8 31,2 31,2 30,8 31,1 30,7 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31,1 31	30,8 °C 31,1 °C 31,1 °C 30,6 °C 31,2 °C 31,1 °C 30,8 °C 30,9 °C 30,8 °C 31,2 °C 31,2 °C 31,2 °C 31,1 °C 31,2 °C	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	30,8°CK $68,6$ $31,1$ °CK $67,3$ $30,6$ °CK $67,7$ $31,2$ °CK $68,3$ 31 °CK $67,4$ 31 °CK $67,4$ $30,8$ °CK $67,5$ $30,9$ °CK $67,8$ $30,7$ °CK $67,9$ $30,8$ °CK $68,6$ $31,2$ °CK $68,6$ $31,2$ °CK $68,6$ $31,2$ °CK $67,6$ $31,1$ °CK $67,6$ $31,1$ °CK $67,6$ $31,1$ °CK $67,4$ $31,1$ °CK $68,6$ $31,3$ °CK $68,5$ $31,2$ °CK $68,5$ $31,2$ °CK $68,6$ $31,1$ °CK $67,1$ $30,9$ °CK $68,6$ $31,1$ °CK $67,3$ $30,9$ °CK $68,6$ $31,1$ °CK $67,3$ $30,9$ °CK $68,6$ $31,1$ °CK $67,3$ <	30.8 °C K 68.6 °C 31.1 °C K 67.3 °C 30.6 °C K 67.3 °C 31.2 °C K 68.3 °C 31.2 °C K 68.3 °C 31.2 °C K 67.4 °C 31.1 °C K 67.4 °C 30.8 °C K 67.8 °C 30.8 °C K 67.8 °C 30.8 °C K 67.4 °C 30.7 °C K 67.8 °C 30.8 °C K 67.4 °C 30.8 °C K 67.4 °C 31.2 °C K 67.4 °C 31.2 °C K 67.6 °C 31.1 °C K 67.6 °C 31.1 °C K 67.4 °C 31.1 °C K 67.3 °C <td< td=""></td<>

05:38:10	31,1	°C	K	67,1	°C	K
05:38:15	30,8	°C	К	68	°C	К
05:38:20	30,9	°C	К	68,5	°C	K
05:38:25	31,2	°C	К	67,6	°C	K
05:38:30	31,1	°C	К	67,3	°C	K
05:38:35	30,9	°C	К	67,4	°C	K
05:38:40	31	°C	К	67,5	°C	K
05:38:45	31	°C	K	67,6	°C	K
05:38:50	30,9	°C	К	67,5	°C	K
05:38:55	30,7	°C	К	68,1	°C	K
05:39:00	30,9	°C	К	68,4	°C	K
05:39:05	31,1	°C	K	67,9	°C	K
05:39:10	31	°C	K	67,5	°C	K
05:39:15	31	°C	К	67,2	°C	K
05:39:20	31	°C	К	67,4	°C	К
05:39:25	30,8	°C	K	67,6	°C	K
05:39:30	30,9	°C	К	68,8	°C	К
05:39:35	31,3	°C	K	67,4	°C	K
05:39:40	30,7	°C	K	67,9	°C	K
05:39:45	31,1	°C	К	68,4	°C	К
05:39:50	31	°C	K	67,6	°C	К
05:39:55	30,7	°C	K	68	°C	К
05:40:00	30,8	°C	К	68,8	°C	К
05:40:05	31	°C	K	68,4	°C	К
05:40:10	31,1	°C	К	68,1	°C	К
05:40:15	31,1	°C	К	68,1	°C	К
05:40:20	31,1	°C	K	67,9	°C	K
05:40:25	31,2	°C	K	67,5	°C	K
05:40:30	31,1	°C	K	67,4	°C	K
05:40:35	30,8	°C	К	68	°C	К
05:40:40	30,8	°C	К	68,9	°C	K
05:40:45	31,3	°C	К	68,1	°C	K
05:40:50	31,1	°C	К	67,5	°C	K

05:40:55	30,7	°C	K	68,5	°C K
05:41:00	31,1	°C	K	68,6	°C K
05:41:05	31,2	°C	К	67,5	°C K
05:41:10	30,9	°C	К	67,4	°C K
05:41:15	30,8	°C	К	67,7	°C K
05:41:20	30,8	°C	К	68,6	°C K
05:41:25	31,1	°C	К	68,6	°C K
05:41:30	31,2	°C	К	67,8	°C K
05:41:35	31,1	°C	К	67,3	°C K
05:41:40	31	°C	К	67,6	°C K
05:41:45	30,7	°C	К	68,8	°C K
05:41:50	31,1	°C	К	68,2	°C K
05:41:55	31,2	°C	К	67,4	°C K
05:42:00	31,1	°C	К	67,4	°C K
05:42:05	31,2	°C	К	67,3	°C K
05:42:10	31	°C	К	67,2	°C K
05:42:15	31	°C	К	67,4	°C K
05:42:20	30,9	°C	К	67,7	°C K
05:42:25	30,9	°C	К	68,7	°C K
05:42:30	31,1	°C	К	68,5	°C K
05:42:35	31,1	°C	К	67,8	°C K
05:42:40	31,1	°C	K	67,3	°C K
05:42:45	30,8	°C	К	67,9	°C K
05:42:50	30,9	°C	K	68,5	°C K
05:42:55	31,3	°C	К	67,8	°C K
05:43:00	30,9	°C	К	67,6	°C K
05:43:05	30,8	°C	К	68,5	°C K
05:43:10	31,1	°C	К	68,4	°C K
05:43:15	31,2	°C	К	67,8	°C K
05:43:20	31,1	°C	К	67,6	°C K
05:43:25	31,2	°C	K	67,5	°C K
05:43:30	31,2	°C	K	67,5	°C K
05:43:35	31	°C	К	67,6	°C K

05:43:40	31,2	°C	K	67,5	°C	K
05:43:45	31,2	°C	К	67,5	°C	К
05:43:50	31,1	°C	К	67,3	°C	К
05:43:55	30,7	°C	К	67,6	°C	K
05:44:00	31,1	°C	К	68	°C	K
05:44:05	31,1	°C	К	67,3	°C	K
05:44:10	30,8	°C	К	67,9	°C	K
05:44:15	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:44:20	30,9	°C	К	68,5	°C	K
05:44:25	31,1	°C	К	68,3	°C	K
05:44:30	31,2	°C	К	68,3	°C	K
05:44:35	31,2	°C	К	67,7	°C	K
05:44:40	31,2	°C	К	67,2	°C	K
05:44:45	30,9	°C	К	67,6	°C	K
05:44:50	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:44:55	31,3	°C	К	68,3	°C	K
05:45:00	31,2	°C	К	67,5	°C	K
05:45:05	31	°C	К	67,4	°C	K
05:45:10	31	°C	К	67,6	°C	K
05:45:15	30,8	°C	К	67,8	°C	K
05:45:20	30,8	°C	К	67,8	°C	K
05:45:25	30,8	°C	К	67,9	°C	К
05:45:30	30,9	°C	К	68,7	°C	K
05:45:35	31,2	°C	К	67,8	°C	К
05:45:40	30,9	°C	К	67,5	°C	K
05:45:45	30,8	°C	К	68,5	°C	K
05:45:50	31,2	°C	К	68,2	°C	K
05:45:55	31	°C	K	67,4	°C	К
05:46:00	31,1	°C	К	67,5	°C	K
05:46:05	31,1	°C	К	67,5	°C	K
05:46:10	30,9	°C	K	67,8	°C	K
05:46:15	30,7	°C	K	68,1	°C	K
05:46:20	31	°C	К	68,8	°C	K

05:46:25	31,3	°C	K	68,1	°C	K
05:46:30	31,1	°C	К	67,4	°C	K
05:46:35	30,6	°C	K	68,6	°C	K
05:46:40	31,2	°C	K	68,1	°C	K
05:46:45	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:46:50	30,8	°C	К	68,4	°C	K
05:46:55	31	°C	К	68,8	°C	K
05:47:00	31,1	°C	К	68,5	°C	K
05:47:05	31,1	°C	К	68,2	°C	K
05:47:10	31,2	°C	К	67,6	°C	К
05:47:15	31,1	°C	К	67,3	°C	K
05:47:20	31	°C	К	67,5	°C	К
05:47:25	31	°C	К	68,6	°C	К
05:47:30	31,2	°C	К	67,6	°C	К
05:47:35	31	°C	K	67,4	°C	K
05:47:40	30,8	°C	К	68,1	°C	К
05:47:45	30,9	°C	К	68,5	°C	К
05:47:50	31,1	°C	К	68,4	°C	K
05:47:55	31,2	°C	К	68,2	°C	К
05:48:00	31,2	°C	К	68	°C	К
05:48:05	31,1	°C	K	67,4	°C	K
05:48:10	30,9	°C	К	67,6	°C	К
05:48:15	30,7	°C	К	68,5	°C	К
05:48:20	31,1	°C	K	68	°C	K
05:48:25	31	°C	K	67,4	°C	K
05:48:30	30,8	°C	К	68,2	°C	К
05:48:35	31	°C	K	68,8	°C	K
05:48:40	31	°C	К	68,5	°C	К
05:48:45	31	°C	К	68,4	°C	К
05:48:50	31,1	°C	К	68,1	°C	К
05:48:55	31,2	°C	К	67,7	°C	К
05:49:00	31	°C	к	67,1	°C	K
05:49:05	30,9	°C	К	67,8	°C	K

05:49:10	30,9	°C	K	69,1	°C K	
05:49:15	31,2	°C	К	67,4	°C K	
05:49:20	30,7	°C	К	67,7	°C K	
05:49:25	30,9	°C	K	69,1	°C K	
05:49:30	31,1	°C	K	68,1	°C K	
05:49:35	31,2	°C	К	67,8	°C K	
05:49:40	31	°C	К	67,7	°C K	
05:49:45	31,1	°C	К	67,7	°C K	
05:49:50	31,1	°C	К	67,6	°C K	
05:49:55	31,1	°C	К	67,4	°C K	
05:50:00	31	°C	К	67,6	°C K	
05:50:05	30,8	°C	К	68,5	°C K	
05:50:10	31	°C	К	68,1	°C K	
05:50:15	31,1	°C	К	67,2	°C K	
05:50:20	30,8	°C	К	67,8	°C K	
05:50:25	30,8	°C	К	68,5	°C K	
05:50:30	30,9	°C	К	68,8	°C K	
05:50:35	30,9	°C	К	68,3	°C K	
05:50:40	31,1	°C	К	68,4	°C K	
05:50:45	31,1	°C	К	68,2	°C K	
05:50:50	31,3	°C	К	67,8	°C K	
05:50:55	31,1	°C	К	67,4	°C K	
05:51:00	30,9	°C	К	67,6	°C K	
05:51:05	30,7	°C	К	68,3	°C K	
05:51:10	31,1	°C	К	68,5	°C K	
05:51:15	31,1	°C	К	67,4	°C K	
05:51:20	30,9	°C	К	67,5	°C K	
05:51:25	30,8	°C	К	67,8	°C K	
05:51:30	30,8	°C	К	68,5	°C K	
05:51:35	31	°C	К	68,8	°C K	
05:51:40	31	°C	К	68,5	°C K	
05:51:45	31,1	°C	К	68,6	°C K	
05:51:50	31,2	°C	К	68,1	°C K	

05:51:55	31,2 °C	K	67,5 °C	Κ
05:52:00	31,1 °C	К	67,2 °C	Κ
05:52:05	31 °C	К	67,4 °C	Κ
05:52:10	30,7 °C	К	67,9 °C	Κ
05:52:15	30,7 °C	К	68,6 °C	Κ
05:52:20	31 °C	К	68,7 °C	Κ
05:52:25	31,2 °C	К	68,3 °C	Κ
05:52:30	31,3 °C	К	67,6 °C	Κ
05:52:35	31,1 °C	К	67,1 °C	Κ
05:52:40	30,8 °C	К	67,9 °C	Κ
05:52:45	30,9 °C	К	68,6 °C	Κ
05:52:50	31,2 °C	К	68,1 °C	Κ
05:52:55	31,2 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:00	31,1 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:05	31,1 °C	К	67,2 °C	Κ
05:53:10	31,1 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:15	31,2 °C	К	67,7 °C	Κ
05:53:20	31,1 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:25	31,2 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:30	31,2 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:35	31,1 °C	К	67,4 °C	Κ
05:53:40	31,2 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:45	31,1 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:50	31,1 °C	К	67,5 °C	Κ
05:53:55	30,8 °C	К	67,9 °C	Κ
05:54:00	30,8 °C	К	68,6 °C	Κ
05:54:05	31,1 °C	К	68,6 °C	Κ
05:54:10	31,2 °C	К	67,5 °C	Κ
05:54:15	31,1 °C	К	67,1 °C	Κ
05:54:20	31 °C	К	67,5 °C	Κ
05:54:25	31,1 °C	К	67,4 °C	Κ
05:54:30	31 °C	К	67,3 °C	Κ
05:54:35	31 °C	К	67,4 °C	Κ

05:54:40	31	°C	К	67,6	°C	K
05:54:45	30,8	°C	К	67,9	°C	K
05:54:50	30,7	°C	К	68,2	°C	K
05:54:55	30,9	°C	К	69	°C	K
05:55:00	31,2	°C	К	68,1	°C	K
05:55:05	31,2	°C	К	67,6	°C	K
05:55:10	31,1	°C	К	67,6	°C	K
05:55:15	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:55:20	31	°C	К	67,4	°C	K
05:55:25	30,9	°C	К	67,5	°C	K
05:55:30	30,9	°C	К	67,7	°C	K
05:55:35	30,8	°C	К	68,7	°C	K
05:55:40	31,1	°C	К	68	°C	K
05:55:45	31,1	°C	К	67,5	°C	K
05:55:50	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:55:55	31,1	°C	К	67,2	°C	K
05:56:00	31	°C	К	67,5	°C	K
05:56:05	30,8	°C	К	67,7	°C	K
05:56:10	30,8	°C	К	68,6	°C	K
05:56:15	31,1	°C	К	68,2	°C	K
05:56:20	31	°C	К	67,2	°C	K
05:56:25	30,8	°C	К	67,9	°C	K
05:56:30	30,9	°C	К	68,6	°C	K
05:56:35	31	°C	К	68,1	°C	K
05:56:40	31,1	°C	К	67,4	°C	K
05:56:45	31	°C	К	67,5	°C	K
05:56:50	30,7	°C	К	68,1	°C	K
05:56:55	31	°C	К	68,6	°C	К
05:57:00	31,2	°C	К	67,5	°C	К
05:57:05	31,1	°C	К	67,3	°C	К
05:57:10	30,9	°C	К	67,4	°C	K
05:57:15	30,7	°C	К	68,2	°C	K
05:57:20	31,3	°C	К	68,3	°C	K

31,1	°C K	68	°C K
31,1	°C K	67,2	°C K
30,7	°C K	67,8	°C K
30,8	°C K	68,6	°C K
30,9	°C K	68,8	°C K
31,2	°C K	68,1	°C K
31,2	°C K	67,5	°C K
31,1	°C K	67,3	°C K
30,9	°C K	67,6	°C K
30,7	°C K	68,3	°C K
31,2	°C K	68,1	°C K
31,1	°C K	67,4	°C K
30,9	°C K	67,4	°C K
30,8	°C K	68,6	°C K
30,9	°C K	68,5	°C K
31,2	°C K	68,1	°C K
31,2	°C K	68,2	°C K
31,2	°C K	68,1	°C K
31,1	°C K	67,3	°C K
30,8	°C K	67,9	°C K
30,9	°C K	68,7	°C K
31,1	°C K	67,4	°C K
30,6	°C K	68	°C K
31	°C K	68,5	°C K
31,2	°C K	68,2	°C K
31,3	°C K	67,6	°C K
31,1	°C K	67,4	°C K
31,2	°C K	67,1	°C K
30,8	°C K	67,4	°C K
30,8	°C K	68,8	°C K
31,2	°C K	68	°C K
31,2	°C K	67,1	°C K
30,6	°C K	67,8	°C K
	31,1 31,1 30,7 30,8 30,9 31,2 31,2 31,1 30,9 30,7 31,2 31,1 30,9 30,8 30,9 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,1 30,8 30,9 31,1 30,8 30,9 31,1 30,8 30,9 31,1 30,8 30,9 31,1 30,8 30,9 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2 31,2	31,1 °C K 31,1 °C K 30,7 °C K 30,8 °C K 30,9 °C K 31,2 °C K 31,1 °C K 31,2 °C K 31,1 °C K 30,9 °C K 30,7 °C K 31,1 °C K 30,7 °C K 30,7 °C K 30,7 °C K 31,1 °C K 30,9 °C K 31,2 °C K 31,1 °C K 30,8 °C K 31,1 °C K 31,1 °C K 31,2 °C K 31,3 °C K 31,3 °C K 31,3 °C K 31,3 °C K 31,2 °C K 30,8 °C K 30,8 °C K 31,2 °C </td <td>31,1 °C K 68 31,1 °C K 67,2 30,7 °C K 68,6 30,9 °C K 68,8 31,2 °C K 68,1 31,2 °C K 67,5 31,1 °C K 67,3 30,9 °C K 67,3 30,9 °C K 67,4 30,9 °C K 68,1 31,2 °C K 68,3 30,9 °C K 68,1 31,1 °C K 68,1 31,2 °C K 68,1 31,1 °C K 68,5 31,2 °C K 68,5 31,2 °C K 68,1 31,1 °C K 68,1 31,1 °C K 68,7 31,1 °C K 68,5 31,2 °C K 68,5 31,2 °C K</td>	31,1 °C K 68 31,1 °C K 67,2 30,7 °C K 68,6 30,9 °C K 68,8 31,2 °C K 68,1 31,2 °C K 67,5 31,1 °C K 67,3 30,9 °C K 67,3 30,9 °C K 67,4 30,9 °C K 68,1 31,2 °C K 68,3 30,9 °C K 68,1 31,1 °C K 68,1 31,2 °C K 68,1 31,1 °C K 68,5 31,2 °C K 68,5 31,2 °C K 68,1 31,1 °C K 68,1 31,1 °C K 68,7 31,1 °C K 68,5 31,2 °C K 68,5 31,2 °C K

06:00:10	30,9	°C	К	68,5	°C	K
06:00:15	31,1	°C	К	67,5	°C	K
06:00:20	31,1	°C	К	67,3	°C	K
06:00:25	30,8	°C	К	67,9	°C	K
06:00:30	30,8	°C	К	68,5	°C	K
06:00:35	31,1	°C	К	68,6	°C	K
06:00:40	31,2	°C	К	67,4	°C	K
06:00:45	30,9	°C	K	67,6	°C	K
06:00:50	30,6	°C	К	68,1	°C	K
06:00:55	31,2	°C	K	68,1	°C	K
06:01:00	31,1	°C	K	67,2	°C	K
06:01:05	30,9	°C	K	68,7	°C	K
06:01:10	31,1	°C	K	68	°C	K
06:01:15	31	°C	K	67,3	°C	K
06:01:20	30,9	°C	K	68,1	°C	К
06:01:25	31,1	°C	K	68,1	°C	K
06:01:30	31,2	°C	K	67,5	°C	К
06:01:35	31,2	°C	K	67,3	°C	K
06:01:40	31,1	°C	K	67,3	°C	K
06:01:45	31,1	°C	K	67,2	°C	K
06:01:50	31,1	°C	K	67,2	°C	К
06:01:55	31	°C	K	67,5	°C	K
06:02:00	30,8	°C	K	68,5	°C	K
06:02:05	31,2	°C	K	68	°C	К
06:02:10	31	°C	K	67,2	°C	K
06:02:15	30,8	°C	K	68,6	°C	K
06:02:20	31,1	°C	K	67,2	°C	K
06:02:25	30,9	°C	К	67,5	°C	K
06:02:30	30,8	°C	К	68,7	°C	K
06:02:35	31	°C	К	68,4	°C	K
06:02:40	31,1	°C	K	68	°C	K
06:02:45	31,2	°C	K	67,5	°C	K
06:02:50	31	°C	K	67,2	°C	K

06:02:55	30,7	°C	К	67,9	°C	K
06:03:00	31,1	°C	К	68	°C	К
06:03:05	31,1	°C	К	67,3	°C	К
06:03:10	30,8	°C	К	68,9	°C	K
06:03:15	31,2	°C	К	67,2	°C	K
06:03:20	31	°C	К	67,5	°C	К
06:03:25	31	°C	К	67,7	°C	К
06:03:30	31,1	°C	К	67,4	°C	К
06:03:35	31,1	°C	К	67,5	°C	К
06:03:40	31,1	°C	К	67,4	°C	К
06:03:45	31,1	°C	К	67,3	°C	К
06:03:50	30,7	°C	К	68	°C	К
06:03:55	31,3	°C	К	67,4	°C	К
06:04:00	30,8	°C	К	67,5	°C	К
06:04:05	30,9	°C	К	68,9	°C	К
06:04:10	31,1	°C	К	67,9	°C	К
06:04:15	30,9	°C	К	67,5	°C	К
06:04:20	30,7	°C	К	68,1	°C	K
06:04:25	30,9	°C	K	68,5	°C	K
06:04:30	31	°C	К	67,4	°C	K
06:04:35	30,9	°C	K	67,4	°C	К
06:04:40	30,8	°C	К	69	°C	K
06:04:45	31,2	°C	К	67,4	°C	K
06:04:50	30,8	°C	К	67,5	°C	K
06:04:55	30,8	°C	К	68,6	°C	K
06:05:00	31,2	°C	К	68,2	°C	K
06:05:05	31,2	°C	К	67,4	°C	К
06:05:10	31	°C	К	67,2	°C	K
06:05:15	30,7	°C	К	67,7	°C	К
06:05:20	30,7	°C	К	68,8	°C	K
06:05:25	31,3	°C	К	67,5	°C	K
06:05:30	30,7	°C	К	67,8	°C	K
06:05:35	31	°C	К	68,6	°C	К

06:05:40	31,2	°C	K	67,4	°C	K
06:05:45	31,2	°C	К	67,3	°C	K
06:05:50	31,2	°C	К	67,4	°C	K
06:05:55	31,2	°C	К	67,4	°C	K
06:06:00	31,1	°C	К	67,2	°C	K
06:06:05	30,9	°C	К	67,4	°C	K
06:06:10	30,8	°C	К	68,5	°C	K
06:06:15	31,3	°C	К	67,6	°C	K
06:06:20	30,8	°C	К	67,9	°C	K
06:06:25	31,2	°C	К	68,6	°C	K
06:06:30	30,7	°C	К	67,4	°C	K
06:06:35	30,9	°C	К	68,8	°C	K
06:06:40	31,2	°C	К	67,9	°C	K
06:06:45	31,1	°C	К	67,3	°C	K
06:06:50	31	°C	К	67,2	°C	K
06:06:55	31,1	°C	К	67,3	°C	K
06:07:00	30,9	°C	К	67,4	°C	K
06:07:05	31	°C	К	68,5	°C	K
06:07:10	31	°C	К	67,3	°C	K
06:07:15	31	°C	К	68,7	°C	K
06:07:20	31	°C	К	67,4	°C	K
06:07:25	31	°C	К	68,6	°C	K
06:07:30	31,2	°C	К	67,3	°C	K
06:07:35	31	°C	К	67,3	°C	K
06:07:40	30,9	°C	К	67,8	°C	K
06:07:45	30,9	°C	К	68,8	°C	K
06:07:50	31,2	°C	К	67,9	°C	K
06:07:55	31	°C	К	67,1	°C	K
06:08:00	30,9	°C	К	68	°C	K
06:08:05	31,1	°C	К	68	°C	K
06:08:10	31,1	°C	K	67,3	°C	K
06:08:15	30,8	°C	К	67,7	°C	K
06:08:20	31	°C	К	68,5	°C	K
06:08:25	31,1	°C	K	67,3	°C	K
----------	------	----	---	------	----	---
06:08:30	30,9	°C	K	67,4	°C	К
06:08:35	30,7	°C	K	68,2	°C	K
06:08:40	31,2	°C	K	68,2	°C	K
06:08:45	31,1	°C	K	67,3	°C	К
06:08:50	30,9	°C	K	67,4	°C	К
06:08:55	30,8	°C	K	68,5	°C	К
06:09:00	31,1	°C	K	68	°C	К
06:09:05	31,1	°C	K	67	°C	К
06:09:10	30,9	°C	K	67,6	°C	К
06:09:15	30,8	°C	K	68,5	°C	K
06:09:20	31,1	°C	К	67,9	°C	К
06:09:25	31,2	°C	К	67,5	°C	К
06:09:30	31,2	°C	K	67,1	°C	К
06:09:35	30,8	°C	K	67,4	°C	К
06:09:40	31	°C	K	68,5	°C	К
06:09:45	31,2	°C	K	67,9	°C	К
06:09:50	31,1	°C	K	67,4	°C	K
06:09:55	31	°C	K	67,4	°C	К
06:10:00	30,8	°C	K	67,9	°C	K
06:10:05	31	°C	К	68,6	°C	К
06:10:10	31,1	°C	K	68	°C	К
06:10:15	31,1	°C	K	67,1	°C	К
06:10:20	30,9	°C	K	67,2	°C	К
06:10:25	30,7	°C	K	68,2	°C	К
06:10:30	31,2	°C	K	68,3	°C	K
06:10:35	31,1	°C	K	67,2	°C	K
06:10:40	31	°C	K	67,4	°C	К
06:10:45	30,8	°C	K	68,5	°C	К
06:10:50	31	°C	K	67,4	°C	К
06:10:55	30,8	°C	К	67,9	°C	K
06:11:00	30,9	°C	К	68,4	°C	K
06:11:05	31,2	°C	K	67,8	°C	K

06:11:10	31,1	°C	К	67,4	°C	K
06:11:15	31,1	°C	К	67,4	°C	K
06:11:20	31,1	°C	K	67,1	°C	K
06:11:25	31	°C	К	67,4	°C	K
06:11:30	30,8	°C	К	68,5	°C	K
06:11:35	31,1	°C	K	67,9	°C	K
06:11:40	31	°C	K	67	°C	K
06:11:45	30,8	°C	K	67,8	°C	K
06:11:50	31,1	°C	K	68,1	°C	K
06:11:55	31,1	°C	K	67,4	°C	K
06:12:00	31,1	°C	K	67,3	°C	K
06:12:05	30,8	°C	K	67,5	°C	K
06:12:10	30,8	°C	K	68,4	°C	K
06:12:15	30,9	°C	K	68,5	°C	K
06:12:20	31,1	°C	K	67,9	°C	K
06:12:25	31,1	°C	K	67,3	°C	K
06:12:30	30,8	°C	K	67,3	°C	K
06:12:35	30,8	°C	K	68,6	°C	K
06:12:40	31,1	°C	K	67,9	°C	K
06:12:45	30,9	°C	K	67,1	°C	K
06:12:50	30,7	°C	K	68,4	°C	К
06:12:55	31,3	°C	K	68,1	°C	K
06:13:00	31,3	°C	K	67,6	°C	К
06:13:05	31	°C	K	67,2	°C	K
06:13:10	31	°C	K	67,4	°C	K
06:13:15	30,7	°C	K	67,7	°C	K
06:13:20	30,8	°C	K	68,1	°C	K
06:13:25	31	°C	К	68,5	°C	K
06:13:30	31,3	°C	К	67,3	°C	K
06:13:35	30,8	°C	К	67,4	°C	K
06:13:40	30,7	°C	К	68,5	°C	K
06:13:45	31,2	°C	К	67,3	°C	K
06:13:50	31	°C	К	67,3	°C	K

06:13:55	30,7	°C	K	68,4	°C	K
06:14:00	31,2	°C	K	68,5	°C	K
06:14:05	31,3	°C	К	67,2	°C	K
06:14:10	31	°C	К	67,4	°C	K
06:14:15	30,8	°C	К	67,8	°C	K
06:14:20	31	°C	К	68,7	°C	K
06:14:25	31,2	°C	К	67,7	°C	K
06:14:30	31,1	°C	К	67,1	°C	К
06:14:35	31	°C	К	67,4	°C	K
06:14:40	30,8	°C	К	67,8	°C	K
06:14:45	31	°C	К	68,4	°C	K
06:14:50	31,2	°C	К	68	°C	K
06:14:55	31,1	°C	К	67,3	°C	K
06:15:00	31	°C	K	67,4	°C	K
06:15:05	30,8	°C	К	67,4	°C	K
06:15:10	30,7	°C	K	68,6	°C	K
06:15:15	31,2	°C	К	68	°C	K
06:15:20	30,8	°C	K	67,5	°C	K
06:15:25	31	°C	K	68,4	°C	K
06:15:30	31,1	°C	К	67,2	°C	K
06:15:35	30,7	°C	К	67,3	°C	K
06:15:40	31,3	°C	К	68	°C	K
06:15:45	31,1	°C	К	67,1	°C	K
06:15:50	30,7	°C	К	67,5	°C	K
06:15:55	31,1	°C	К	68,9	°C	K
06:16:00	31,2	°C	K	67,3	°C	K
06:16:05	31	°C	K	67,1	°C	K
06:16:10	30,9	°C	K	67,7	°C	K
06:16:15	31	°C	К	68,7	°C	K
06:16:20	31,3	°C	K	67,7	°C	K
06:16:25	31,1	°C	К	67,1	°C	K
06:16:30	31	°C	К	67,4	°C	K
06:16:35	30,8	°C	К	68,6	°C	K

06:16:40	31,2 °	°C K	68,4	°C K
06:16:45	31,2 °	°C K	67,5	°C K
06:16:50	31,1 °	°C K	67,3	°C K
06:16:55	31 ິ	°C K	67,3	°C K
06:17:00	30,8	°C K	67,9	°C K
06:17:05	31 ິ	°C K	68,4	°C K
06:17:10	31,2	°C K	67,7	°C K
06:17:15	31 ິ	°C K	67,2	°C K
06:17:20	30,8	°C K	67,8	°C K
06:17:25	31,1 °	°C K	68,4	°C K
06:17:30	31 ິ	°C K	67	°C K
06:17:35	30,9	°C K	68,5	°C K
06:17:40	31,2 °	°C K	68,2	°C K
06:17:45	31,2 °	°C K	67,5	°C K
06:17:50	31,1 °	°C K	67,4	°C K
06:17:55	31,1 °	°C K	67,3	°C K
06:18:00	31,1 °	°C K	67,3	°C K
06:18:05	31,1 °	°C K	67,2	°C K
06:18:10	30,9	°C K	68,6	°C K
06:18:15	31,1 °	°C K	67,2	°C K
06:18:20	30,8	°C K	67,9	°C K
06:18:25	31 ິ	°C K	68,4	°C K
06:18:30	31,1 °	°C K	67,9	°C K
06:18:35	31,1 °	°C K	67,3	°C K
06:18:40	31,1 °	°C K	67,3	°C K
06:18:45	30,7 °	°C K	67,8	°C K
06:18:50	30,9 °	°C K	68,6	°C K
06:18:55	31,1 °	°C K	68	°C K
06:19:00	31,1 '	°C K	67,2	°C K
06:19:05	30,8 °	°C K	67,3	°C K
06:19:10	31,1 °	°C K	68,4	°C K
06:19:15	31,1 '	°C K	67,2	°C K
06:19:20	30,7	°C K	68,6	°C K

06:19:25	31,1 °C	К	67,1 °C	Κ
06:19:30	30,8 °C	Κ	67,6 °C	Κ
06:19:35	30,8 °C	К	68,4 °C	Κ
06:19:40	31 °C	К	68,5 °C	Κ