

# FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO I

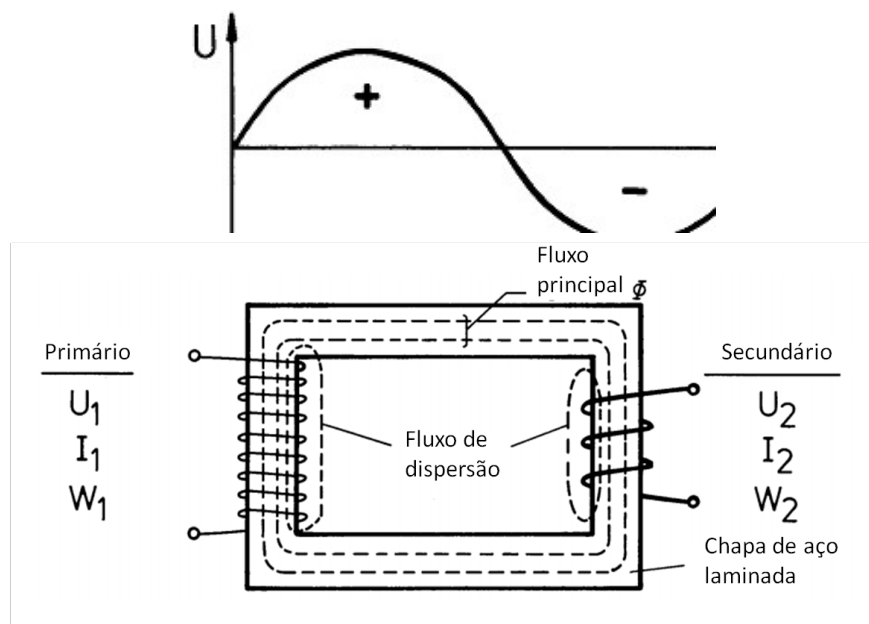
Texto traduzido pelos Alunos da FATEC-SP

Felipe Chicoli Villar  
Leandro Peres Ferreira  
Raphael Oliveira Ferreira

## 1. Tipos de fontes de soldagem

### 1.1. Transformadores

#### Introdução a transformadores



$$U = 4,44 \cdot f \cdot W \cdot \Phi$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$c = 4,44 \cdot 50$$

$$U = c \cdot W \cdot \Phi$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2};$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

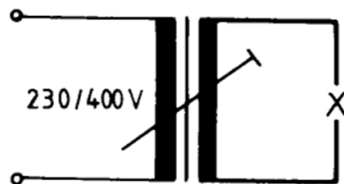
$U_1$  [V] = Tensão primária  
 $I_1$  [A] = Corrente primária  
 $W_1$  = Número de enrolamentos primário  
 $U$  [Wb] = Fluxo magnético  
 $U_2$  [V] = Tensão secundária  
 $I_2$  [A] = Corrente secundária  
 $W_2$  = Número de enrolamentos secundário  
 $f$  [Hz] = Frequência

## Transformador de soldagem – Tipo 1:

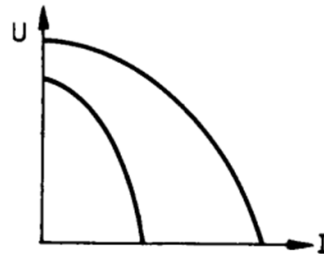
### Transformadores com fluxo de dispersão variável.

No campo da soldagem dois tipos especiais de transformadores são utilizados. No primeiro tipo, uma parte do fluxo magnético, o chamado fluxo de dispersão, não passa pelo núcleo ferroso, mas desvia pelo ar e, portanto, induz uma tensão nos enrolamentos. A polaridade desta tensão induzida é inversa a da tensão original e, portanto, reduz a tensão de saída do transformador. A magnitude da tensão induzida depende da corrente. A característica da fonte de soldagem é estabelecida pela mudança do fluxo de dispersão.

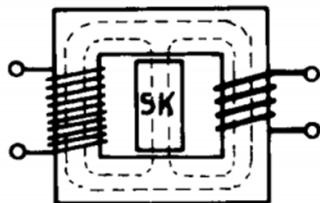
A tensão em aberto diminui com um aumento no fluxo de dispersão.



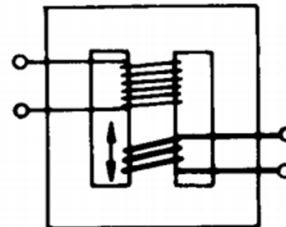
Símbolo de um transformador ajustável



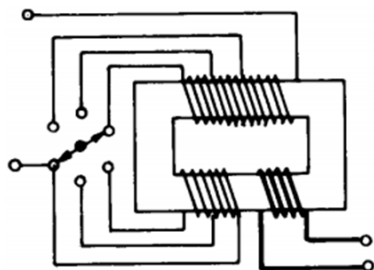
Diferentes curvas características (tombantes)



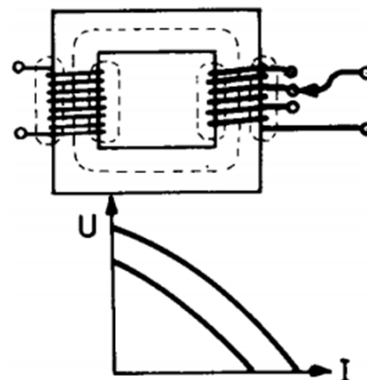
Uma parte de um fluxo magnético passa através de um núcleo de ferro variável



Um enrolamento (primário ou secundário) é móvel



O enrolamento primário consiste em uma parte principal e uma auxiliar.



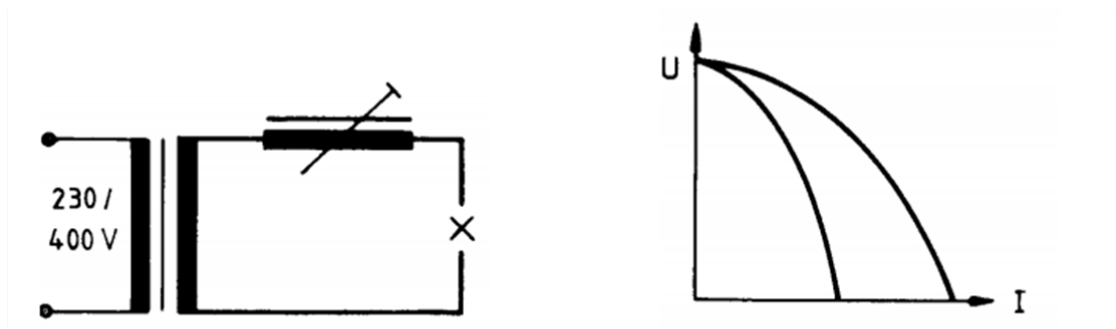
O enrolamento secundário possui vários pontos de contato, adequados apenas para transformadores de baixa potência.

### 1.1.1. Transformador de soldagem – Tipo 2:

#### Bobinas com resistência indutiva variável:

Uma bobina é localizada no circuito secundário (corrente de soldagem). Uma resistência indutiva causa uma perda de tensão e aumento da corrente.

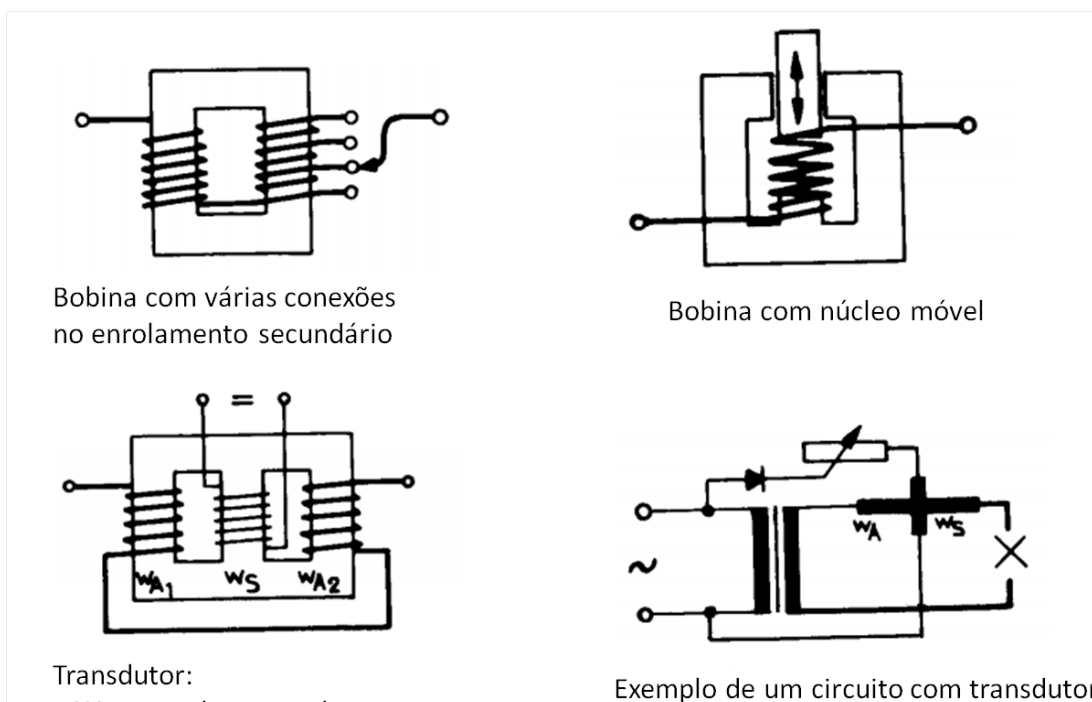
A característica desejável da fonte de soldagem é estabelecida pela mudança do valor da bobina. A tensão em aberto continua a mesma.



Símbolo de um circuito com bobina ajustável no circuito secundário

Exemplos de curvas características estáticas

#### Exemplos de bobinas:



Transdutor:

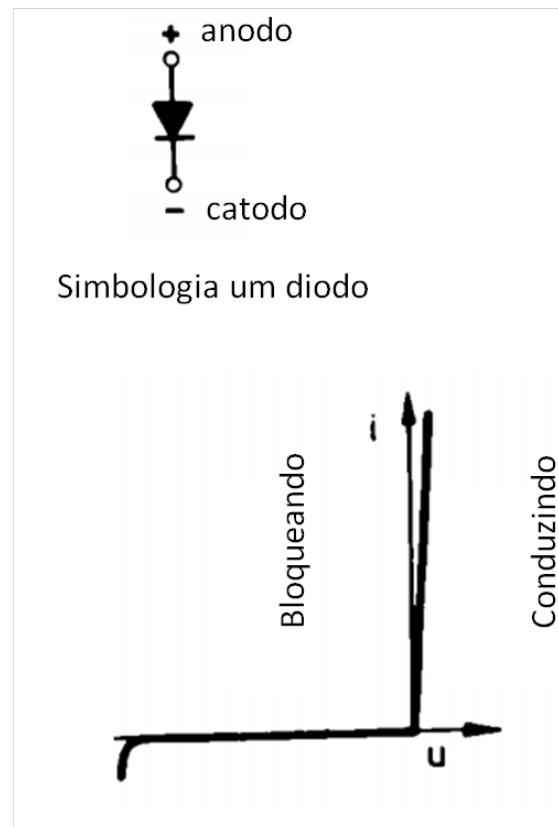
- $w_{A1,2}$  enrolamento de corrente
- $w_S$  enrolamento de controle

Exemplo de um circuito com transdutor

## 1.2. Retificadores de soldagem

### 1.2.1. Métodos para retificação de corrente alternada

Semicondutores: diodo

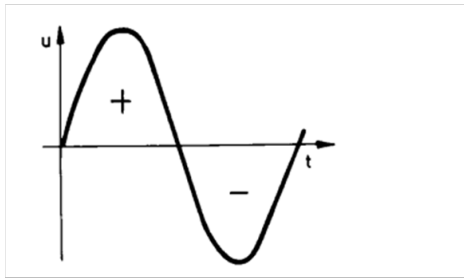


Característica tensão-corrente de um diodo ideal

Há diferentes tipos de diodos. Especificamente para retificação de correntes de soldagem, diodos de silício são frequentemente utilizados devido à alta densidade de corrente.

Propriedades (valores máximos)	Se	Ge	Si
Densidade de Corrente A/cm <sup>2</sup>	0,6	250	600
Temperatura de junção admissível °C	85,0	70	180
Tensão inversa de pico de bloqueio V	25,0	110	400

## Tipos de circuitos retificadores



Corrente alternada (entrada do circuito secundário do transformador)

Descrição:

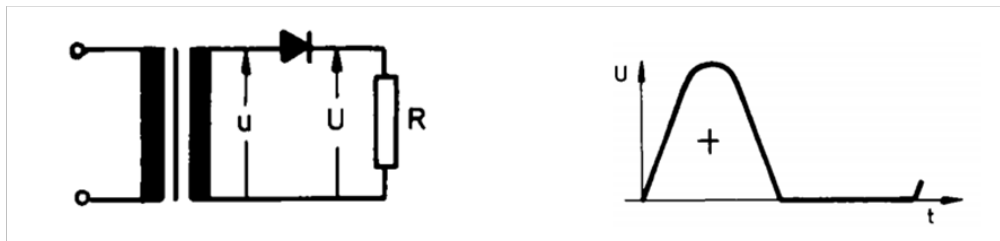
$f$ : frequência

$w$ : fator de ondulação = taxa do valor de rms do componente de corrente alternada para corrente contínua ou valor médio

### Retificação de meia curva

$f = 50 \text{ Hz}$

$w = 121\%$



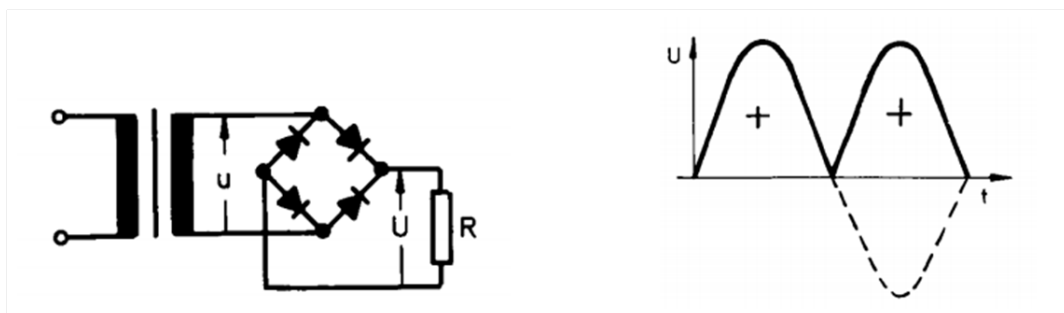
Circuito retificador de meia curva

Formato da curva de tensão

### Retificação da curva completa (retificador ponte)

$f = 100 \text{ Hz}$

$w = 48\%$



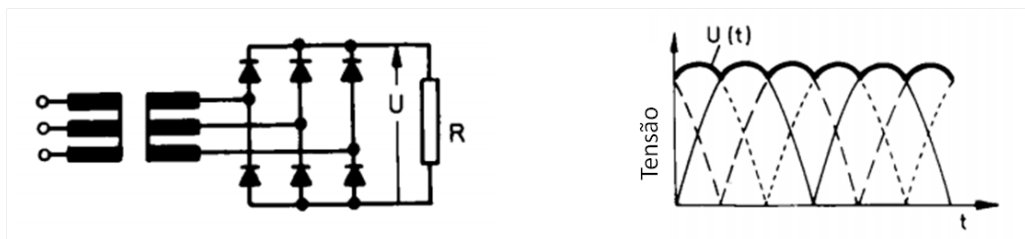
Circuito retificador da curva completa

Formato da curva da tensão de saída

### Retificação completa da curva para circuito trifásico

$f = 300 \text{ Hz}$

$w = 4,2\%$



Circuito retificador trifásico da curva completa

Formato da curva de tensão de saída

## Retificadores de soldagem

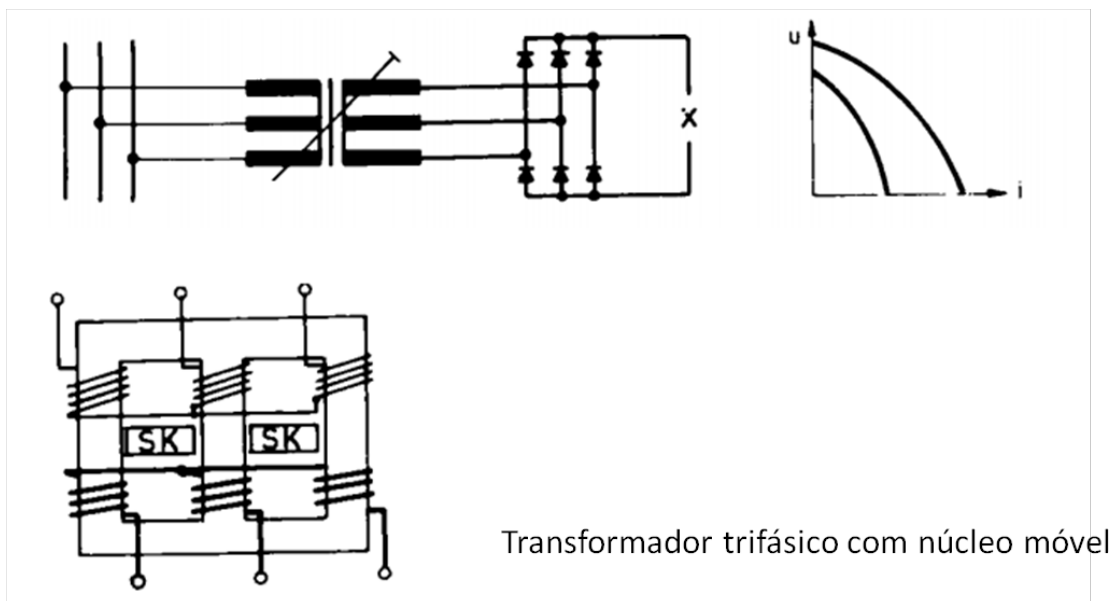
A parte de corrente alternada possui uma indutância “L”, que trabalha como uma resistência em corrente alternada. Dependendo do tipo de fonte de corrente, é uma resistência interna formada pela indutância do próprio transformador (tipo 1) ou uma resistência adicional fornecida por uma bobina separada (tipo 2).

Pelo aumento da carga (maior corrente de soldagem), uma perda de tensão  $\Delta U$  ocorre pela bobina de acordo com a fórmula  $\Delta U = I\omega L$ . Esta tensão aumenta proporcionalmente ao aumento da corrente. Com o aumento da carga, há uma queda na tensão de saída.

### 1.2.2. Retificador de soldagem – Tipo 1

#### Transformadores com fluxo de perda variável

O retificador de soldagem consiste em um transformador e em um retificador. Normalmente este equipamento é alimentado com corrente trifásica.

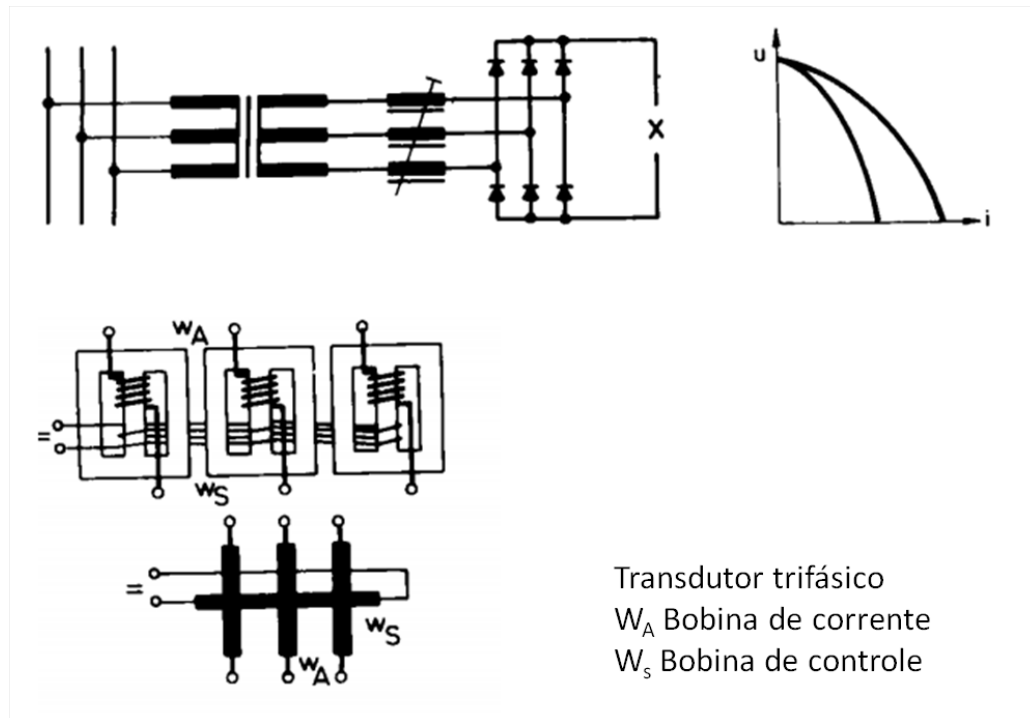


### 1.2.3. Retificador de soldagem – Tipo 2

#### Bobinas com resistências indutivas variáveis

Este tipo consiste em um transformador trifásico, em uma bobina trifásica (transdutor) com indutância variável e um circuito retificador trifásico. O aumento da indutância da bobina resulta numa queda da tensão de saída.

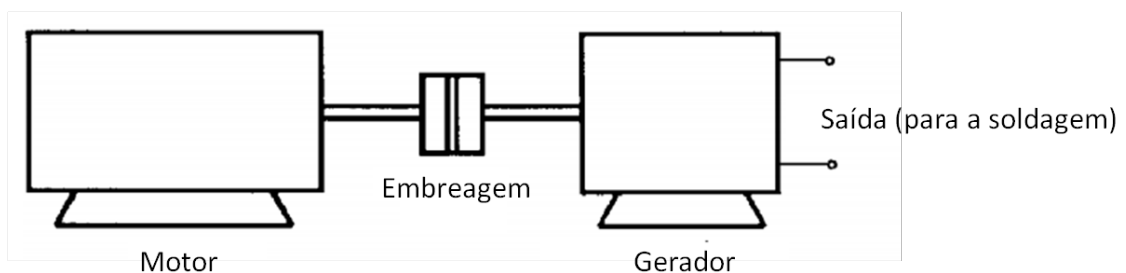
A tensão em aberto secundária não é afetada por estas mudanças.



### 1.3. Conversor de soldagem

Conversores de soldagem consistem em um gerador, dirigido por um motor, que gera a corrente de soldagem. Na maioria dos casos, o gerador usado é dirigido por um motor elétrico trifásico, contudo, é possível operar conversores com motores a diesel para uso externo.

Na saída do gerador pode haver tanto corrente contínua como corrente alternada, em alguns casos especiais até corrente alternada com elevada frequência, como 400 Hz. Princípios de um conversor de soldagem rotativo:

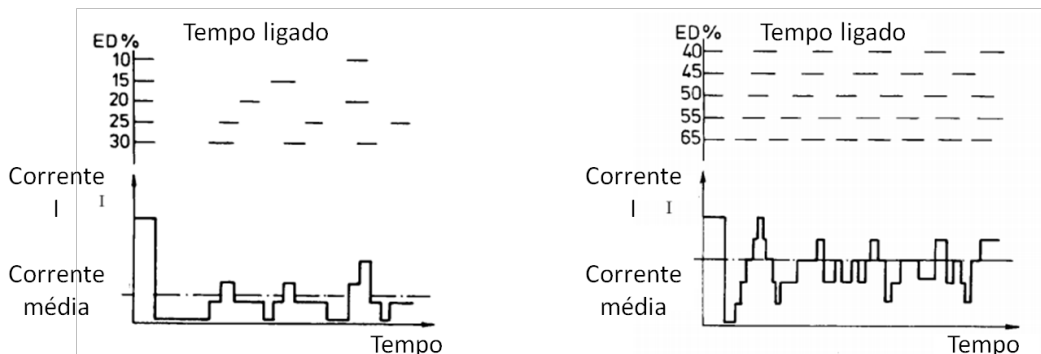


Acima de tudo, os conversores de soldagem oferecem as melhores características para soldagem, especialmente no que diz respeito a (re) ignição e estabilidade do arco elétrico.

## 1.4. Unidade de soldagem de múltipla operação

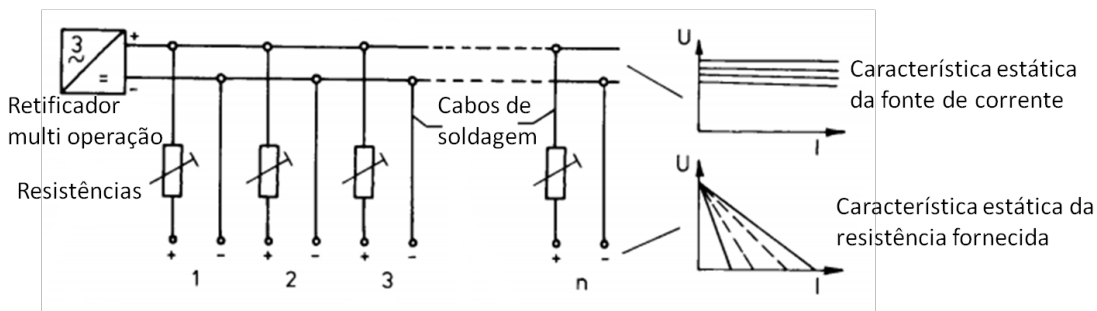
### Aplicação

Para muitas operações de solda com baixo ciclo de trabalho e baixa simultaneidade.

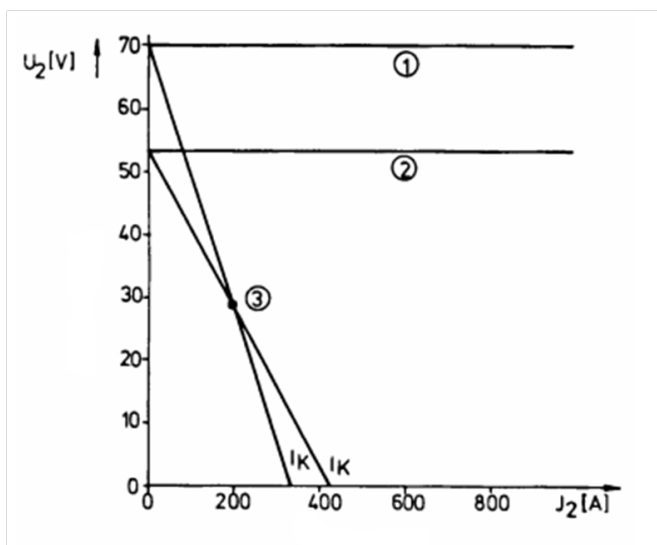


Esquema de carga de um sistema de soldagem multi operação com 5 estações e baixo ciclo de trabalho de 10 a 30%, sendo a corrente de soldagem a mesma para cada estação.

Esquema de carga de um sistema de soldagem multi operação com 5 estações e alto ciclo de trabalho de 40 a 65%, sendo a corrente de soldagem a mesma para cada estação.



Montagem de uma unidade de soldagem multi operação



Corrente, tensão, eficiência

- 1 Tensão secundária alta;  
Corrente de curto circuito  $I_k$  baixa;  
Má eficiência (aprox. 40%).
- 2 Menor tensão secundária;  
Corrente de curto circuito  $I_k$  maior;  
Melhor eficiência (aprox. 50%).

Estas condições são válidas para o mesmo ponto de operação "3": 200A, 28V.



## 2. Ligação à rede

### 2.1. Requisitos

Carga simétrica (trifásica), constante, tão baixa quanto possível, minimização dos picos de carga do circuito de soldagem ao circuito primário, e vice-versa.

### 2.2. Fusíveis de proteção

Os cabos primários estão protegidos por fusíveis que são escolhidos de acordo com o diâmetro dos cabos. Maiores informações podem ser obtidas através dos estudos dos manuais das fontes de corrente.

Dispositivos conectados a uma tomada de parede com tensão de 230V estão completamente protegidos com um disjuntor de 16A ou então um fusível de 10A (baixa fusão).

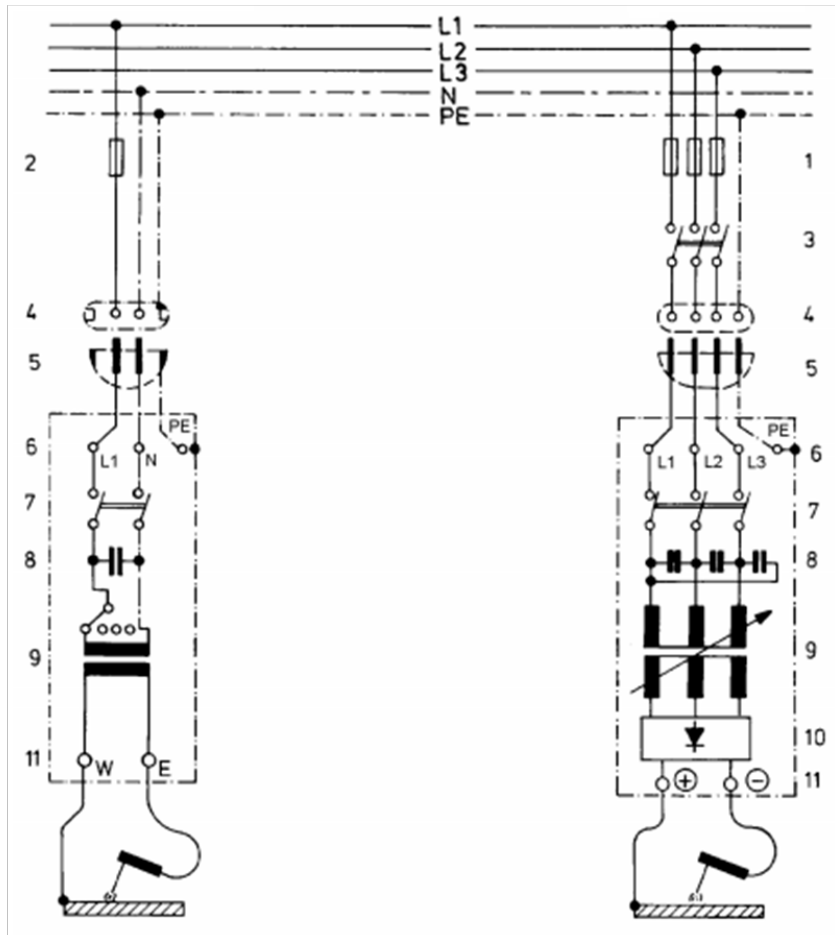
Tabela: Visão geral das características elétricas das diferentes fontes de corrente

Carga nos circuitos primários	Transformador	Retificador	Conversor
Conexão	Não simétrica	Simétrica	Simétrica
Carga	Não estável	Não estável	Não estável
Minimização dos picos	Não	Não	Sim
Diminuição da potência aparente nos circuitos primários	Sim, por compensação	Sim, por compensação	Compensação desnecessária devido a bom $\cos\phi$ (fator de potência)

## Compensação

Pequeno transformador de soldagem  
Carga não simétrica

Retificador de soldagem  
Carga simétrica



1. Fusível
2. Para tomada de parede, apenas fusível de 10 A ou disjuntor de 16 A.
3. Interruptor principal
4. Soquete com fio terra
5. Plug
6. "grampos"
7. Interruptor
8. Capacitor para compensação
9. Transformador ajustável
10. Retificador
11. Soquetes para cabos de soldagem

### Unidades de fornecimento de corrente:

Corrente de entrada:  $I_1 = (A)$

Tensão de entrada:  $U_1 = (V)$

Corrente de saída:  $I_2 = (A)$

Tensão de saída:  $U_2 = (V)$

Potência aparente:

- Fornecimento bifásico:  $N_1 = U_1 \cdot I_1 \text{ (VA)}$

- Fornecimento trifásico:  $N_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3} \text{ (VA)}$

Potência real:  $N_{w1} = N_1 \cdot \cos \phi \text{ (W)}$

Fator de potência:  $\cos \phi = \frac{N_{w1}}{N_1}$

Eficiência:  $\eta = \frac{N_2 \cdot 100}{N_1} \%$

## FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO II

### Funções, requisitos, e regulamentação

#### 1. Tipos de fontes de energia

CC	AC
retificador de soldagem conversor rotativo de soldagem conversor de soldagem multi operacional retificador de soldagem multi operacional fontes de energia eletrônica ("Sinérgica")	transformadores de soldagem pequenos transformadores de soldagem MF - conversor rotativo de soldagem AC - conversor rotativo de soldagem (50Hz) transformador de soldagem multi operacional
fontes de energia combinada	

#### 2. Requisitos

Alimentando o arco com tensão e corrente apropriado:

tensão em vazio: 42 ... 90 V

( > 100 V para corte a plasma)

tensão de arco aberto: 10 ... 40 V

( > 40 V para corte a plasma)

As características elétricas são determinadas pelas características estáticas.

#### 3. Necessidades

tensão em vazio suficientemente elevada

ponto operacional definido

boas propriedades dinâmicas





uma fonte forte o suficiente para a corrente necessária

- ignição do arco
- estabilidade do arco
- reignição do arco
- produtividade

#### 4. Normas, Regras e Regulamentações

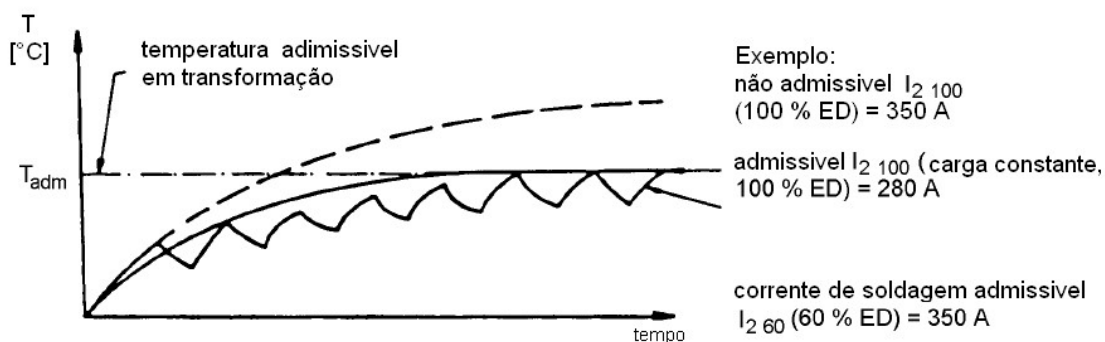
Projetos, teste, requerimentos:	VDE 0543 (EN 50 060)	fonte de energia para soldagem a arco manual com ciclo de trabalho limitado
	VDE 0544 (EN 60 974)	requerimentos de segurança para equipamentos de soldagem a arco (fontes de energia para soldagem)
	VDE 0545	requerimentos de segurança para a construção e instalação de equipamentos para soldagem por resistência e processos a afins
Conexão à rede, segurança:	VDE 0100	instalações operadas a baixas tensões (incluindo também requerimentos de segurança)
	TAB	requerimentos técnicos para instalações (fornecido pela usina, válido na Alemanha)

	VBG 15	regras para a prevenção de acidentes de soldagem e processos afins (válido na Alemanha)
Operação:	VDE 0544/ DIN 57 544	requerimentos de segurança para equipamentos de soldagem (fontes de energia para soldagem)

Tipo: TRM 501		Fabr. – Nr.			
		EM 60 974 - 1			
	60 A / 22,4 V – 500 A / 40 V				
	~ 50Hz	X	35 %	60 %	100 %
	U <sub>0</sub> V 70...78	I <sub>2</sub>	500 A	380 A	300 A
		U <sub>2</sub>		35 V	32V
 1 ~	Cos. φ 0,84 (150 A)				
	U <sub>1</sub> V  220  380  50 Hz	I <sub>1</sub>	164 A	113 A	87 A
			95 A	65 A	50 A
		resfriamento AF	S <sub>1</sub>	36,1 kVA	24,7 kVA
1. KL.					
Q 9,2 kvar		IP 22			

Exemplo de uma placa de identificação de um transformador monofásico (VDE 0544)

### Fontes de energia para soldagem a arco - Modos de operação / ciclo de trabalho "ED" [%].



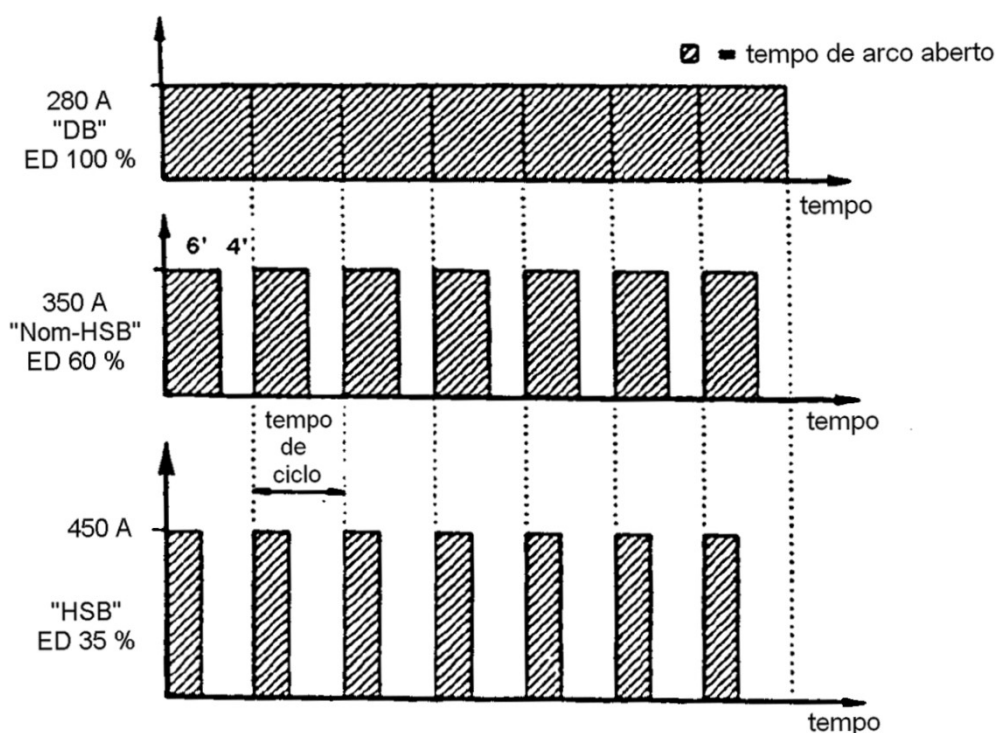
$$I_s = I_D \cdot \sqrt{\frac{100}{ED}}$$

$$ED = \frac{\text{tempo aberto}}{\text{tempo de ciclo}} \cdot 100[\%]$$

$I_s$  = Corrente de soldagem  
 $I_D$  = Corrente constante

ED = ciclo de trabalho  
tempo de ciclo = 10 min

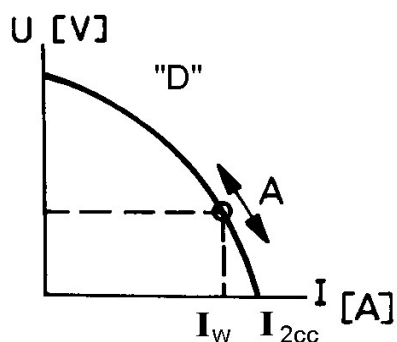
### Fonte de energia para soldagem a arco – ciclo de trabalho padronizado



DB = soldagem mecanizada (padronizado)  
Nom-HSB = soldagem manual normal  
HSB = soldagem manual (padronizado)  
ED para curva característica de tensão tombante: 35%, 60%, 100%  
ED para curva característica de tensão constante: 60%, 100%

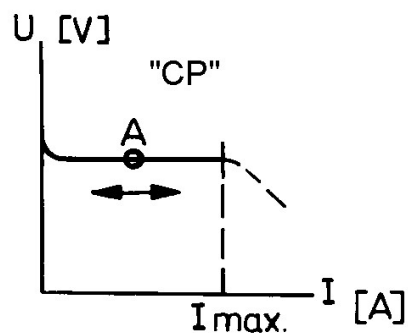
### Características estáticas

Tipos de curvas características:



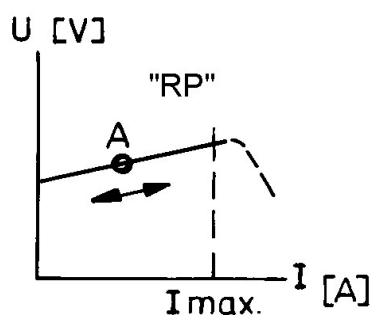
#### Tensão tombante

soldagem manual: ingrije em "A"  
soldagem mecanizada: plana em "A"



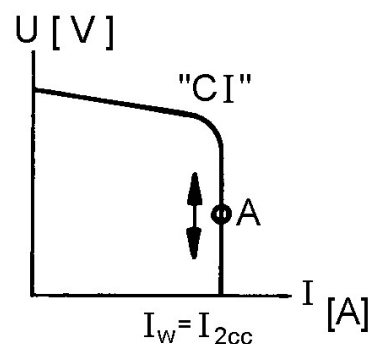
#### Tensão constante (CP)

usado para máquinas de soldagem



#### Tensão crescente (CP)

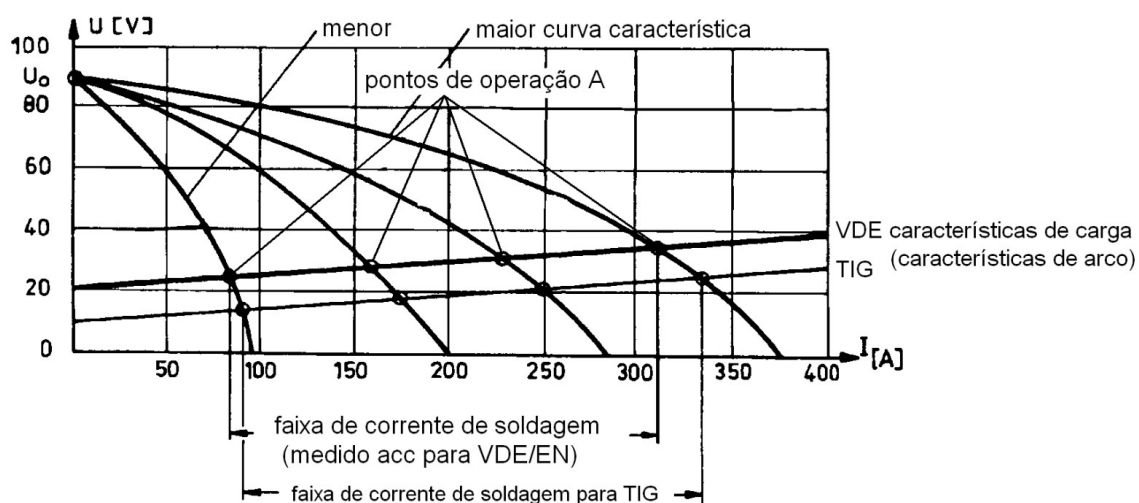
raramente usado para máquinas de soldagem



#### Corrente constante (CP)

usado para soldagem com TIG e Plasma

#### Características tombante:

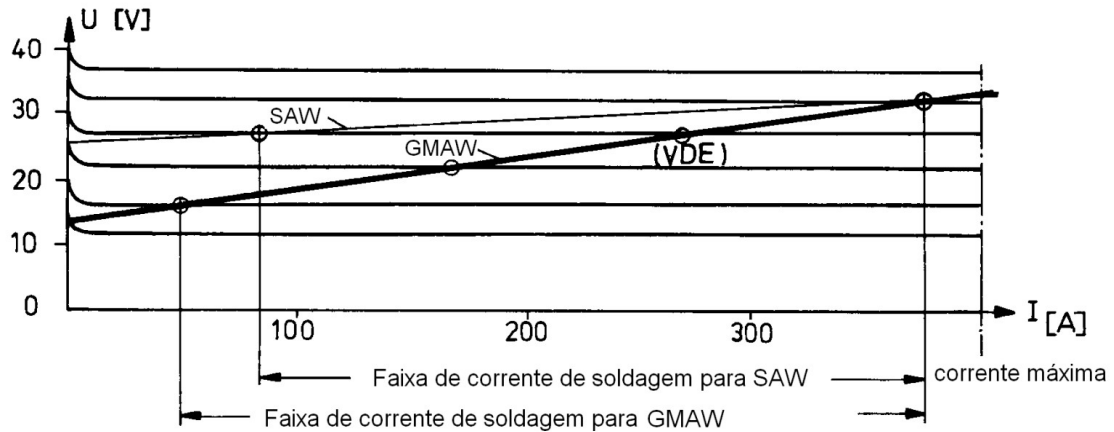


Tensão padronizada para corrente contínua. VDE:

$$U = 20 + (0,04 \cdot I) \text{ [V]}$$

(Acima de 600 A = 44 V)

### Características de tensão constante:



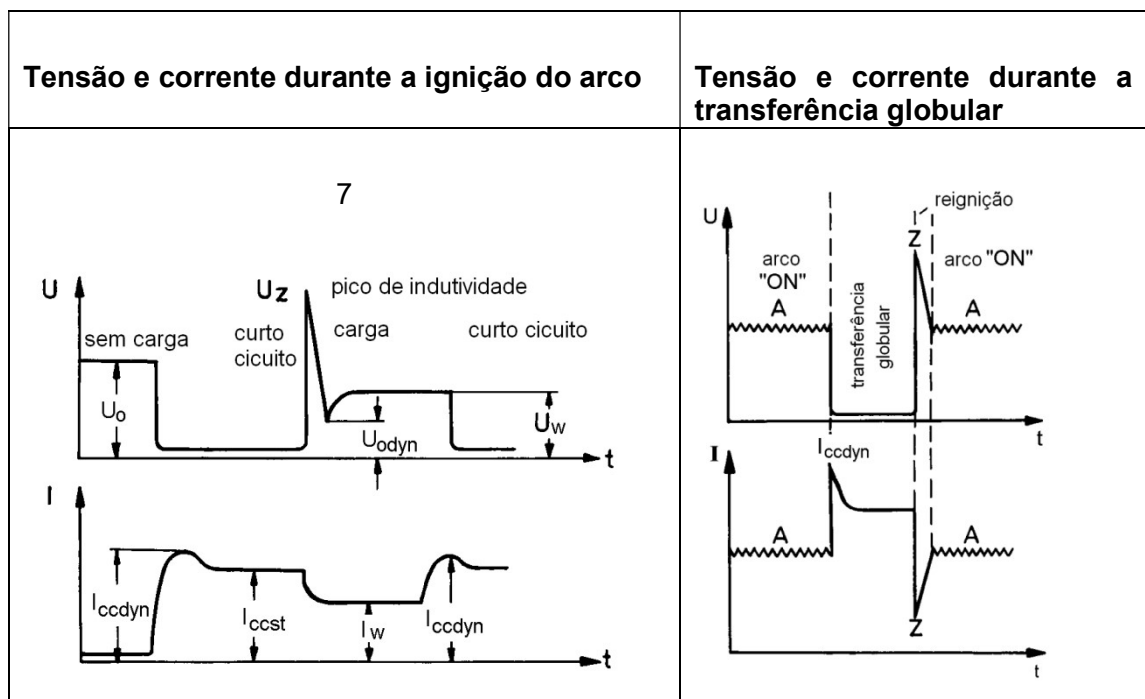
Tensão padronizada para corrente contínua. VDE:

$$U = 14 + (0,05 \cdot I) \text{ [V]}$$

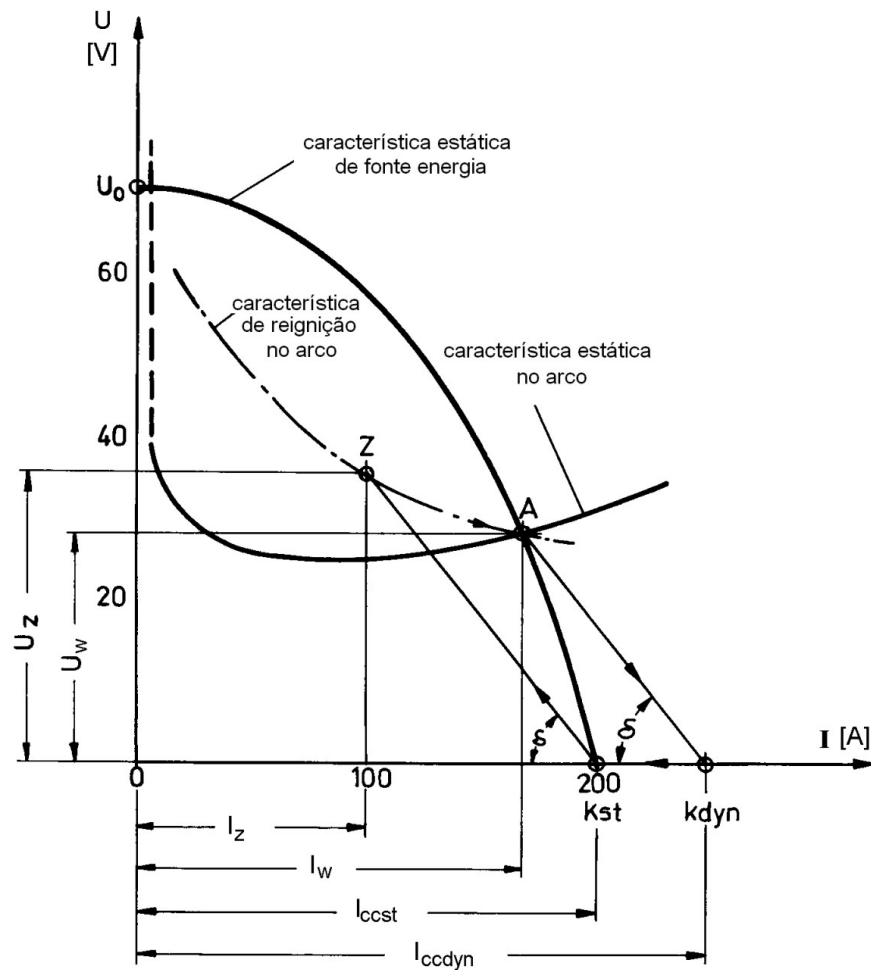
(Acima de 600 A = 44 V)

### Características dinâmicas:

As reações das fontes de energia em mudanças momentâneas no arco, especialmente quando surgem condições de curto circuito (ignição, a transferência globular).



### Características de inclinação:



$I_w$  = corrente de soldagem

$I_{ccst}$  = Corrente de curto circuito estática

$I_{ccdyn}$  = Corrente de curto circuito dinâmica

$I_z$  = corrente de reignição do arco

$U_w$  = tensão de soldagem

$U_z$  = pico de tensão para reignição do arco

$U_o$  = tensão estática em vazio

$U_{odyn}$  = tensão dinâmica em vazio

$\tan \delta$  = inclinação dinâmica

$$= \frac{U_s}{I_{kdyn} - I_s} = \frac{U_z}{I_{kst} - I_z}$$

Valore mínimo acessível:

Até  $I_s = 150$  A;

Acima de  $I_s = 150$  A;

$$\tan \delta \geq 30/I_s$$

$$\tan \delta \geq 0,2$$



## Seleção da fonte de energia

As seguintes características devem ser levadas em conta:

- tipo de corrente requerido (= / ~)
- corrente requerida (faixa de regulação de corrente de soldagem)
- tensão de circuito aberto permitida
- ED permitido para corrente requerida
- tipo de característica estática
- circunstâncias de operações especiais,  
(por exemplo tensão de entrada, flutuação na linha de tensão, transporte, comprimento dos cabos de soldagem, condições de resfriamento para fonte de energia etc.)

## Visão geral sobre o uso de diferentes tipos de fontes de energia

				Tipos de fonte de energia						
				Conversor rotativo		retificador		transformador		
Processo (número segundo DIN 4063)				D	CP	D	CP	D	CP	
E	SMAW	111	Soldagem por Eletrodo Revestido	X		X		X		(1)
SK		112	Soldagem por Gravidade	(X)				X		
MF		114	Soldagem por Arame Tubular		X		X			
UP	SAW	12	Soldagem por Arco Submerso	X( $\Delta U$ )	X( $\Delta L$ )	X( $\Delta U$ )	X( $\Delta L$ )	X		(3)
B		78	Soldagem de Pinos	X		X				(4)
WIG	TIG	141	Soldagem TIG	X		X		X		(5)
WP		15	Soldagem por PLASMA	X		X				(5)
MSG	GMAW	13	Soldagem MIG/MAG		X		X			
R	RW	2	Soldagem por resistência						X	
RES		72	Soldagem por eletroescória	X	X	X	X	X	X	

(1) = na maior parte AC, alto ED!

(2) = transformador com tensão de ignição alta

(3) = dependendo do sistema de controle (U or I).

(4) = característica de inclinação plana

(5) = característica acentuada de inclinação, às vezes a corrente constante esta sendo usada (micro plasma)

### Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de fonte de energia

	Transformador	Retificador	Conversor rotativo (DC)
norma guia VDE	0543 0444	0544	0544
conexão de rede	monofásica	trifásica	trifásica
tensão de rede	não simétrica	simétrica	simétrica
influência do pico de tensão de rede	não amortecido	amortecido	amortecido
influencia da flutuação na linha de tensão	proporcional	proporcional	não critico (até 15%)
eficiência	80      90 %	60      80 %	45      60 %
fator de potencia cos. $\varphi$	*      ** 0,5      0,8	*      ** 0,6      0,8	0,85      0,95
máxima tensão em vazio em condições normais	$\leq 80 \text{ v eff}$	$\leq 113 \text{ v}$	$\leq 113 \text{ v}$
máxima tensão em vazio em caso de alto risco	$\leq 48 \text{ v eff}$	$\leq 113 \text{ v}$	$\leq 113 \text{ v}$
	S		
propriedades de ignição	aceitável	boa	muito boa
propriedades de soldagem, estabilidade do arco	aceitável – boa	boa – muito boa	muito boa
efeito de sopro de arco	nenhum	sim	sim
uso	restrito	universal	universal
custos para maquina	50%	80%	100%
manutenção	insignificante	insignificante	alto
ruído durante operação	não	insignificante (pode incomodar)	sim perturbador

\* sem compensação

\*\* com compensação