



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FELIPE CANARIM

WINICIUS VENDRAME CORRÊA

**OTIMIZAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO DE UMA MÁQUINA DE GRAVAÇÃO
A LASER**

Palhoça

2021

FELIPE CANARIM
WINICIUS VENDRAME CORRÊA

**OTIMIZAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO DE UMA MÁQUINA DE GRAVAÇÃO
A LASER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Esp. Eng. Djan de Almeida do Rosário

Palhoça
2021

FELIPE CANARIM
WINICIUS VENDRAME CORRÊA

**OTIMIZAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO DE UMA MÁQUINA DE GRAVAÇÃO
A LASER**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 18 de junho de 2021.

Esp. Eng. Djan de Almeida do Rosário
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dr. Eng. Anderson Soares André
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng. Gian Tomasi Valeriano
Welle Tecnologia Laser

Dedicamos este trabalho às nossas famílias e amigos que nos apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Felipe e Winicius agradecem:

- Primeiramente o seu orientador Prof. Esp. Eng. Djan de Almeida do Rosário pela sua dedicação de tempo, explanação da matéria e sugestão de materiais complementares;
- Aos professores que durante o curso apresentaram enorme dedicação e mesmo em momentos difíceis mantiveram nos incentivando sempre a aprender.
- A empresa Welle Tecnologia Laser que disponibilizou a máquina para o estudo deste trabalho, em especial ao CEO Gabriel Mantovani Bottós;
- Ao Eng. Gian Tomasi Valeriano disponibilizou seu tempo para avaliar este trabalho.
- Ao Eng. Marco Toledo que disponibilizou o seu projeto elétrico e incentivou o estudo desta máquina;
- Ao Eng. Marcelo Freitas Merizi que disponibilizou seu tempo para fazer o histórico de custos da máquina estudada;

Felipe agradece:

- A minha noiva Daniela Parizotto que esteve o tempo todo ao meu lado, sempre compreendendo os momentos de estresse e me apoiando para sempre buscar ser melhor.
- A minha mãe, irmãs e meu sobrinho que me apoiaram nos momentos mais difíceis e compreenderam a minha ausência.
- A minha sogra Clenir Parizotto que me deu todo apoio nos momentos em que eu precisei.
- Ao meu colega de TCC Winicius Vendrame Corrêa que em todo o curso vem apresentando uma excelente postura e não tinha dúvidas que agora nessa etapa final seria diferente, o tempo todo engajado e em nem um momento perdeu o foco.
- A empresa Welle Tecnologia Laser que permitiu meu envolvimento nesse projeto e nos deu apoio em todas as nossas necessidades.

Winicius agradece:

- Aos meus pais Waldir Corrêa Junior e Leonir Vendrame, que me incentivaram ao longo desses anos de curso e na vida;
- A minha namorada Gabriela Fabrício Figueredo que me deu apoio e incentivo para escrever esse trabalho, paciência e amor;
- A empresa Welle Tecnologia Laser que me incentivou desde que eu entrei como estagiário.
- Ao Eng. Gian Tomasi Valeriano que eu tive a oportunidade de aprender no setor de produção

durante 3 anos e ao Eng. Paulo Carvalho que me deu a oportunidade trabalhar no setor de engenharia;

- Ao meu parceiro de estudo Felipe, que se dedicou a essa pesquisa, com sua curiosidade de conhecer e melhorar esse projeto, atento aos detalhes deste trabalho, que sozinho eu não teria conseguido chegar nesse nível de trabalho que chegou, um excelente futuro Engenheiro;

“A simplicidade é a máxima sofisticação” (Leonardo da Vinci).

RESUMO

Nos últimos anos, a tecnologia evoluiu de forma acelerada em muitos setores e não foi diferente para a engenharia elétrica. A tecnologia eletrônica das placas de circuito impresso (PCI) tem impactado as dimensões de muitos equipamentos, influenciando setores do design, logística e economia. O objetivo deste trabalho é analisar e otimizar um circuito eletrônico de uma máquina de gravação a laser. Trata-se de um estudo de otimização de circuito eletrônico, para a máquina OS3000 *Smart*, usando como base comparativa o sistema atual e sua versão anterior, o modelo sem *Smart*. O que diferencia uma da outra é que a versão com *Smart* possui um Controlador Lógico Programável (CLP) e a outra não possui. As variáveis analisadas são: custos com mão de obra e tempo de montagem do quadro elétrico. Espera-se com esse estudo, reduzir o tempo de montagem, o custo com a mão de obra, o custo dos componentes e que consequentemente o produto se torne mais competitivo no mercado. De fato, o estudo resultou na redução de 47,50% no tempo de montagem, consequentemente, gerou uma economia de R\$528,54. Além disso, o custo dos componentes teve uma redução de 47,45%, gerando uma economia de R\$450,97 por produto.

Palavras-chave: Tecnologia, Elétrica, PCI, Otimização, Circuito Eletrônico, Laser.

ABSTRACT

In recent years, technology has evolved rapidly in many industries and has been no different for electrical engineering. The electronic technology of printed circuit boards (PCB) has impacted the dimensions of many types of equipment, influencing sectors of design, logistics, and economics. The objective of this work is to analyze and optimize an electronic circuit of a laser engraving machine. This is an electronic circuit optimization study for the OS 3000 Smart machine, using the current system and its previous version as a comparative basis, the model without Smart. What differentiates one from the other is that the version with Smart has a Programmable Logic Controller (PLC) and the other does not. The variables analyzed will be labor costs, assembly time of the electrical panel. It is expected with this study, to reduce assembly time, labor costs, component costs and, consequently, that the product will become more competitive in the market. In fact, the study results in a 47.50% reduction in assembly time, consequently, a reduction in the cost of labor by R\$528.54. In addition, the cost of components had a reduction of 47.45%, generating savings of R\$450,97.

Keywords: Technology, Electric, PCB, Optimization, Electronic Circuit, Laser.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura OS 3000	16
Figura 2: Dimensões do quadro elétrico OS 3000 <i>Smart</i>	16
Figura 3: Rádio com primeiro circuito impresso feito por Paul Eisler, 1942.....	18
Figura 4: Exemplo de uma PCI com duas camadas de cobre e uma de fibra de vidro	19
Figura 5: PCI Multicamadas.....	20
Figura 6: Ábaco da norma NBR 8188/89 para a largura de trilhas de uma PCI, com base na temperatura ambiente e na corrente aplicada	21
Figura 7: Ábaco da norma NBR 8188/83 para o espaçamento entre trilhas contíguas de uma PCI com base na tensão aplicada na trilha	22
Figura 8: Relé eletromecânico.....	25
Figura 9: Relé de estado sólido opticamente acoplado.....	26
Figura 10: Modelo de borne KRE de três vias	27
Figura 11: Modelo de conector de dados DB9 macho e fêmea.....	27
Figura 12: Relé eletromecânico da PHOENIX CONTACT.....	29
Figura 13: Conector KK macho e fêmea selecionados.....	29
Figura 14: Conector KRE para cabo 2,5mm ²	30
Figura 15: Conectores D selecionados	30
Figura 16: Parte do diagrama esquemático.....	33
Figura 17: Layout da PCI	35
Figura 18: Padrão de montagem dos cabos	37
Figura 19: PCI montada.....	37
Figura 20: Montagem para simulação	38
Figura 21: Jiga de testes	39
Figura 22: Gravação teste em chapa de aço	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Custo evitado acumulado em 5 anos	41
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Melhores metais condutores	19
Tabela 2: Limitações de confecção de uma PCI da empresa Luchtec, de São Paulo.....	23
Tabela 3: Limitações de confecção de uma PCI da empresa Micropress, de São Paulo.	23
Tabela 4: Valores de corrente máxima por componente	28
Tabela 5: Definição de trilhas.....	28
Tabela 6: Comparativos dos modelos com e sem <i>Smart</i>	31
Tabela 7: Comparativo máquina <i>Smart</i> com e sem PCI.....	32
Tabela 8: Lista de componentes	33
Tabela 9: Orçamento da PCI	35
Tabela 10: Comparativo financeiro de todas as versões.....	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo A : Carta de Autorização	44
Anexo B : Registro de Patente US1563731.....	45
Anexo C : Registro de Patente US241960.....	56
Anexo D : Pontos que a empresa Micropress avalia em uma PCI	72
Anexo E : Página do projeto elétrico com a PCI.....	73
Anexo F : Datasheet Relé Eletromecânico da Phoenix	74

LISTA DE SIGLAS

CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

CNPJ – CADASTRO NACIONAL DE PESSOA JURÍDICA

ENIAC – ELECTRICAL NUMERICAL INTEGRATOR AND CALCULATOR

EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

NIHR – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA EM SAÚDE DO REINO UNIDO

PCB – PRINTED CIRCUIT BOARD

PCI – PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	DELIMITAÇÕES	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
1.6	METODOLOGIA	15
1.6.1	Classificação da Pesquisa	15
1.6.2	Descrição Atual do Produto	15
1.6.3	Descrição das Etapas do Projeto.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	18
2.1.1	História.....	18
2.1.2	Estrutura de uma PCI.....	19
2.1.3	Dimensionamento de uma PCI	20
2.1.4	Regras de anteprojeto	23
2.1.5	Software para desenvolvimento de uma PCI.....	24
2.2	COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	24
2.2.1	Relé eletromecânico.....	25
2.2.2	Relé de estado sólido	25
2.2.3	Conector	26
2.2.3.1	Bornes.....	27
2.2.3.2	Conectores de dados	27
3	ANÁLISE DO PRODUTO.....	28
3.1	ESPECIFICAÇÃO DAS TRILHAS.....	28
3.2	DEFINIÇÃO DE COMPONENTES	28
3.3	VARIÁVEIS DE CONTROLE DE VIABILIDADE	30
3.4	MEDIÇÕES DOS RESULTADOS	31
4	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	32
4.1	PROJETO ELÉTRICO	32

4.2	PROJETO DA PCI	32
4.3	ORÇAMENTOS DA PCI	35
4.4	COMPARATIVO FINANCEIRO ENTRE COMPONENTES.....	36
4.5	FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO CIRCUITO ELÉTRICO	36
4.6	PROCESSO DE VALIDAÇÃO	38
5	CONCLUSÃO.....	40
6	ANEXOS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Historicamente falando, o berço da revolução industrial sempre foi a Europa, logo, é natural associar que a tecnologia europeia seja uma referência. Segundo dados da Fiesp, a participação da indústria brasileira no produto interno bruto (PIB), passou de 34% na década de 1980, para 11% em 2015 e tem uma projeção de apenas 9% em 2029. Com o advento da Quarta Revolução Industrial, o Brasil não pode ficar de fora dos proveitos que essa nova forma de produção estabeleceu (SACOMANO, 2020).

Em 2008, mais uma empresa entrou na indústria. Em uma tecnologia totalmente inusitada de se ver no Brasil, a empresa Welle Tecnologia Laser S/A, surgiu com o intuito de criar soluções baseadas na tecnologia do laser guiado por fibra óptica. Não demorou muito para o resultado aparecer, em 2014 ganhou o prêmio da consultoria Deloitte e da revista Exame PME, como a empresa que mais cresceu no Brasil (DELOITTE, 2014).

Alcançar o nível mundial de qualidade e ser líder nacional em máquinas de marcação a laser aconteceu em 2015. Nos anos seguintes, as máquinas de integração ganharam mais espaços para interagirem com linhas de produção automatizadas. Especificamente em uma máquina de integração, que tem o nome de OS 3000 *Smart*. De acordo com o histórico de vendas da empresa, por motivos de privacidade, foi disponibilizado somente os percentuais de vendas dessa máquina, que no ano de 2017 correspondeu a 4% das vendas do seu inventário de máquinas de marcação. Nos anos seguintes, 2018 e 2019, corresponderam a 28% e 23%, respectivamente. Ela é uma máquina de integração, atualmente a mais compacta do portfólio, que conta com três quadros elétricos que realizam a parte eletrônica de potência e de comando. Sua refrigeração é feita através de resfriadores (*coolers*) e de acordo com a aplicação, é escolhido um conjunto óptico que envolve um laser de fibra óptica, um *scanner* e uma lente que focaliza a energia emitida pelo laser. Com a máquina, acompanha um computador, com monitor, *mouse* e teclado. Nele, existe um *software* para fazer a interação do operador com a máquina.

O primeiro computador digital eletrônico, chamado de ENIAC (*Electrical Numerical Integrator and Calculator*), anunciado em 1946, pesava 30 toneladas (BERJIN, 2000) enquanto que hoje um *notebook* Dell Inspiron 15 3000 pesa 2,03 quilogramas (DELL, 2019). O que esses e outros aparelhos possuem em comum, do ponto de vista da eletrônica, é a evolução das placas de circuito impresso (PCI) e é essa tecnologia que foi utilizada para a otimização do circuito eletrônico da máquina de integração da empresa Welle Laser, localizada no Bairro Pedra Branca da cidade de Palhoça, do Estado de Santa Catarina.

Com a autorização da empresa (Anexo A), foi realizado um estudo de otimização do quadro elétrico, com ênfase na redução da quantidade de componentes eletrônicos, relés e bornes de passagem para trilho, transformando esses componentes robustos em uma PCI.

1.1 JUSTIFICATIVA

Hoje com o avanço da tecnologia surgem equipamentos cada vez mais compactos e com *design* menores, fazendo com que haja um maior custo-benefício para as empresas que os comercializam. A máquina de integração da Welle Laser, ainda apresenta oportunidades de melhoria. Abordando mais a fundo os conceitos da Indústria 4.0, essa máquina está aberta a aceitar mais tecnologia desta quarta revolução industrial, que visa aumentar o lucro, diminuir custos, melhorar a experiência do cliente, aperfeiçoar o valor da vida útil do cliente e ser possível fidelizar, vender mais e inovar para crescer e crescer (SANTOS, 2018). Para se tornar mais competitivo e ter um menor custo de fabricação, é necessária uma modernização no projeto elétrico para reduzir o espaço ocupado por componentes robustos.

Esse trabalho tem como finalidade a otimização deste produto. Com a melhoria, pretende-se reduzir 18 relés e 24 bornes de passagem a uma PCI. Além dos ganhos do custo de produção, essa melhoria poderá acarretar um aumento de venda do produto, aumento na margem de lucro e por consequência uma maior satisfação do cliente.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A Welle Laser é uma empresa brasileira, fundada em 2008 e tem como foco o desenvolvimento de soluções fundamentadas em tecnologia de fibra óptica. A máquina de integração da Welle, OS 3000 *Smart*, utiliza em seu quadro de comando, muitos componentes eletrônicos robustos, dentre eles, relés e bornes de passagem para trilho, que acaba ocupando mais da metade do quadro elétrico.

Para aumentar a margem de lucro da máquina, a OS 3000 *Smart* precisa reduzir custos de materiais e tempo de montagem. Com essas diretrizes, qual a melhor possibilidade para reduzir custos de componentes eletrônicos? Transformando parte do circuito em uma PCI.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Reduzir os custos da mão de obra, tempo de montagem e o número de componentes eletrônicos do quadro elétrico de uma máquina de gravação a laser, com base na tecnologia da PCI.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que seja possível alcançar o objetivo geral deste trabalho, os objetivos específicos são:

- Eliminar alguns dos componentes eletrônicos robustos, nesse caso, as bases dos relés e utilizar somente os relés, e remover os bornes de passagem para trilho, passando o circuito pela placa de circuito impresso;
- Reduzir o custo dos relés e dos bornes de passagem que são utilizados neste quadro elétrico, retirando as bases dos relés e os bornes de passagem;
- Aumentar a margem de lucro da máquina reduzindo os gastos de componentes elétricos;
- Diminuir a margem de erro de montagem, uma vez que as ligações para componentes externos do quadro elétrico, são feitas através de cabos com múltiplas vias, soldado em conectores D e não mais com terminais tubulares.

1.4 DELIMITAÇÕES

Esta pesquisa foi feita exclusivamente para a empresa Welle Tecnologia Laser S/A, localizada no bairro Pedra Branca, localizado na cidade de Palhoça, do estado de Santa Catarina, onde foi realizado um estudo de viabilidade, dedicado especificamente ao modelo *OEM Series 3000 Smart*.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O documento está dividido em 4 capítulos. Contendo no primeiro capítulo a introdução do trabalho, passando pela justificativa da escolha do tema abordado. Na sequência, a definição do problema, na qual se busca entender de que forma essa pesquisa pode ajudar a

empresa Welle Laser a ganhar ainda mais espaço no mercado de máquinas de marcação. O documento mostra adiante os objetivos gerais e específicos a serem atingidos, as delimitações e para finalizar o primeiro capítulo, a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo está descrita a metodologia que é abordada para o estudo deste trabalho. De que forma foi abordado a fundamentação teórica e a prática.

Já no terceiro capítulo se tem início aos estudos da fundamentação teórica, na qual traz conhecimentos prévios sobre uma PCI e seus componentes eletrônicos, de forma que justifiquem o *layout* e a escolha dos componentes eletrônicos. Ainda nesse capítulo é apresentado e argumentado a escolha do *software* que foi utilizado para o desenvolvimento prático.

No capítulo seguinte, que é o quarto, foi desenvolvido o estudo em cima do produto final. Nele está contida a análise para as especificações das trilhas de acordo com as bitolas utilizadas pelo projeto elétrico da máquina. Na sequência a relação de endereços de cada interligação para realizar o desenho no *software* de *layout* de placas.

1.6 METODOLOGIA

1.6.1 Classificação da Pesquisa

O estudo proposto trata-se de um estudo de viabilidade, que tem por conceito uma pesquisa exploratória, com objetivo de avaliar a viabilidade da troca de componentes eletrônicos de um quadro elétrico, fixados em trilho, por uma PCI. De acordo com as definições do Instituto Nacional de Pesquisa em Saúde do Reino Unido (NIHR) e aceito por literaturas como Arain et al. (2010) o estudo de viabilidade é definido como pesquisas feitas antes de um estudo principal. Eles são usados para estimar parâmetros importantes que são necessários para projetar o estudo principal.

1.6.2 Descrição Atual do Produto

A OS 3000 *Smart* é uma máquina desenvolvida para se integrar às linhas de produção, com foco na robustez elétrica e na comunicação de dados eficiente. Suas dimensões são de 36 centímetros de largura, de altura são 49 centímetros e 50 centímetros de profundidade, a figura 1 é uma ilustração da máquina.

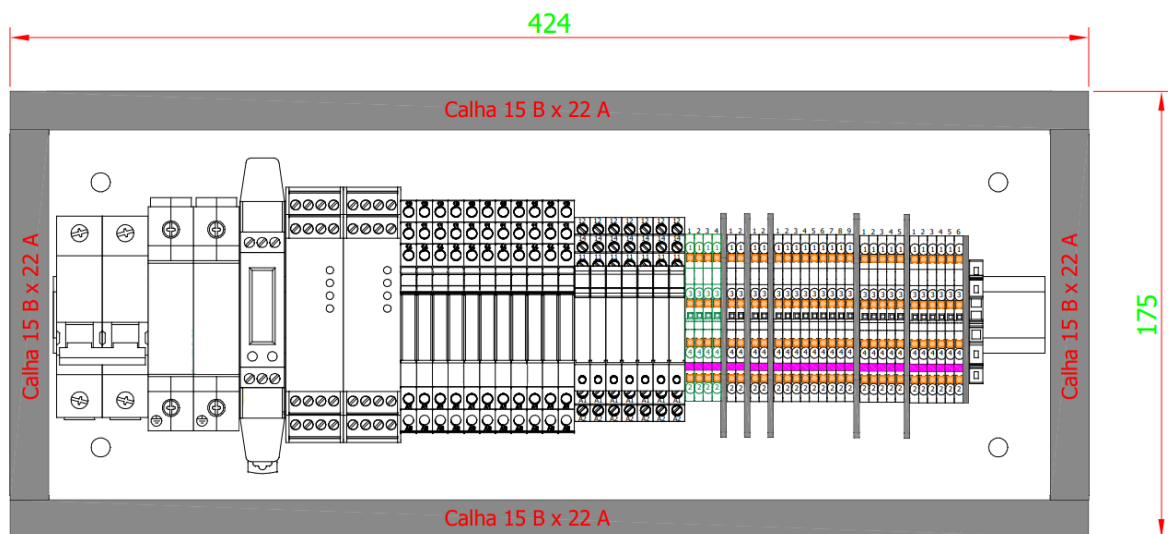
Figura 1: Estrutura OS 3000



Fonte: <https://wellelaser.com/>, novembro de 2020.

Como um dos objetivos é eliminar alguns componentes, isso implica na redução do quadro elétrico, ele possui de largura e altura, respectivamente, 424 milímetros e 175 milímetros, como mostra a figura 2. A máquina possui atualmente duas versões em produção, a OS 3000 sem *Smart* e a com *Smart*, suas estruturas mecânicas são idênticas, o que difere principalmente uma da outra é que uma não possui um Controlador Lógico Programável (CLP) e a outra possui, respectivamente. Portanto a máquina sem *Smart* possui menos componentes e é mais barata, por isso foi utilizada para efeito de comparação.

Figura 2: Dimensões do quadro elétrico OS 3000 *Smart*



Fonte: Próprio autor, 2021.

1.6.3 Descrição das Etapas do Projeto

As sequências dos estudos começam, no primeiro capítulo, introduzindo a máquina para o leitor, qual é a sua aplicação e o que compõe o seu conjunto. Explicando quais motivos levaram a escolha dessa máquina em específico e quais são os nossos objetivos, geral e específico, para o final deste estudo de viabilidade. Ainda neste capítulo é mostrado as delimitações desse estudo.

No segundo capítulo é desenvolvido a metodologia aplicada para esse trabalho. Nele é mostrado quais as métricas foram utilizadas para a avaliação final do projeto, tal como elas foram avaliadas diante dos resultados.

Para o capítulo seguinte, no terceiro, está descrita a fundamentação teórica do trabalho. Inicia-se com o estudo da PCI, mostrando sua história, o que compõe elas, quais as regras que foram estipuladas para a realização do projeto e qual o *software* foi utilizado para fazer o projeto.

O penúltimo capítulo foi destinado ao desenvolvimento do produto. Foi feita toda a análise do projeto original para convertê-lo para um circuito impresso, de forma mais otimizável possível e simples. Uma vez desenhado o projeto, então foram feitos orçamentos com diferentes empresas. Com o protótipo em mãos, foram realizados testes que validaram o funcionamento do novo circuito. Por fim, instalado em uma máquina para validar sua operação.

No quinto e último capítulo, a conclusão. Foram analisadas todas as métricas propostas ao longo dessa pesquisa e apresentado uma perspectiva de custo evitado ao longo de cinco anos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

2.1.1 História

O primeiro item desse capítulo se dará com uma breve introdução histórica e os devidos méritos e agradecimentos aos desenvolvedores dessa tecnologia que foi principalmente desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial, pelo engenheiro austríaco Paul Eisler. Na verdade, existe uma patente registrada anteriormente no Estados Unidos da América (EUA), em 1925, feita por Charles Ducas, com número de registro US1563731A (Anexo B), onde é descrito um processo para depositar uma tinta condutiva sobre um substrato isolante (LENSON, 2014).

No entanto, somente em 1943 essa tecnologia ganhou vida com Eisler, quando ele desenvolveu um rádio para uso militar, utilizando a tecnologia de circuito impresso que ele patenteou posteriormente em 1944, com número de registro US241960A (Anexo C). A figura 3 abaixo mostra o rádio desenvolvido por Paul (LENSON, 2014).

Diversas tecnologias vieram sendo desenvolvidas em cima das placas de circuito impresso e uma delas foi na década de 1980 pela empresa Gerber Scientific, do estado de Connecticut, nos EUA. Ela desenvolveu um formato de arquivo chamado de RS-274D, que é comumente chamado de arquivo Gerber, que é um formato de arquivo solicitado pelos fabricantes de placa de circuito eletrônico até os dias atuais (DANIEL, 2020).

Figura 3: Rádio com primeiro circuito impresso feito por Paul Eisler, 1942

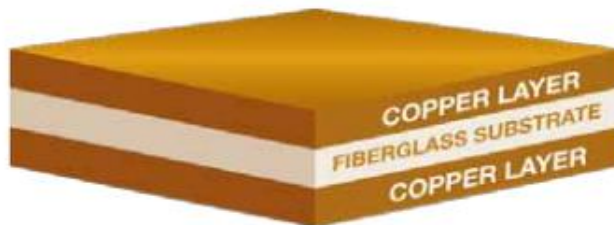


Fonte: <https://www.ssplprints.com>, outubro de 2020.

2.1.2 Estrutura de uma PCI

Uma placa de circuito impresso (PCI), ou também *Printed Circuit Board* (PCB), é definida como uma chapa plana com material condutor e isolante, que é mostrada na figura 4, e exemplifica de forma visual como é essa construção, que mecanicamente suporta a propagação de corrente elétrica através de linhas condutoras, chamadas de trilhas. A placa é projetada de forma que os terminais dos componentes elétricos possam ser soldados nela e interliguem o circuito através das trilhas (GANTT, 2017).

Figura 4: Exemplo de uma PCI com duas camadas de cobre e uma de fibra de vidro



Fonte: <https://www.element14.com>, outubro de 2020.

O material condutor mais utilizado na fabricação das placas é o cobre, do ponto de vista de condutividade, o cobre apenas perde para a prata, como mostra a tabela 1. Devido a prata ser considerada um metal precioso, o cobre se torna uma das opções mais viáveis.

Tabela 1: Melhores metais condutores

Metal	Condutividade Elétrica $[(\Omega \cdot m)^{-1}]$
Prata	$6,8 \times 10^7$
Cobre	$6,0 \times 10^7$
Ouro	$4,3 \times 10^7$
Alumínio	$3,8 \times 10^7$
Latão (70 Cu-30 Zn)	$1,6 \times 10^7$
Ferro	$1,0 \times 10^7$
Platina	$0,94 \times 10^7$
Aço-carbono	$0,6 \times 10^7$
Aço inoxidável	$0,2 \times 10^7$

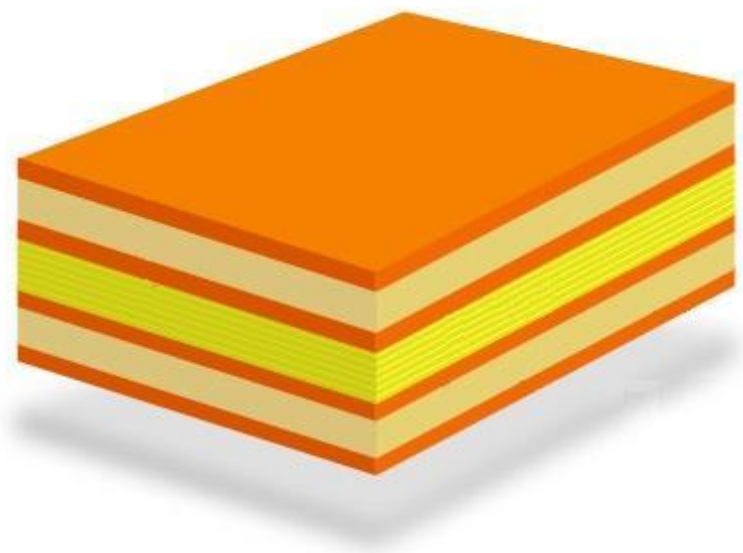
Fonte: <https://www.wikiwand.com/>, outubro de 2020

Quanto ao material isolante, a norma NBR 8188/83 distingue em três tipos diferentes. Os materiais isolantes são a resina epóxi com carga de papel (FR-2), resina epóxi

com carga de papel (FR-3) e a resina epóxi reforçada com tecido de fibra de vidro (FR-4). A abreviação FR é a abreviação de resistente ao fogo (*fire resistant*), ou seja, resistente ao fogo.

Com o avanço da tecnologia, já é possível encontrar placas de circuito impresso multicamadas. Essa tecnologia consiste em criar diferentes níveis de circuitos na mesma placa, possibilitando a redução do atraso de informações entre dispositivos, reduz a perda de sinal e garante uma melhor integridade do sinal (SENAI-SP, 2016). Já é possível encontrar PCIs multicamadas no mercado com até 24 camadas. A figura 5 é um exemplo de uma PCI de 4 camadas.

Figura 5: PCI Multicamadas

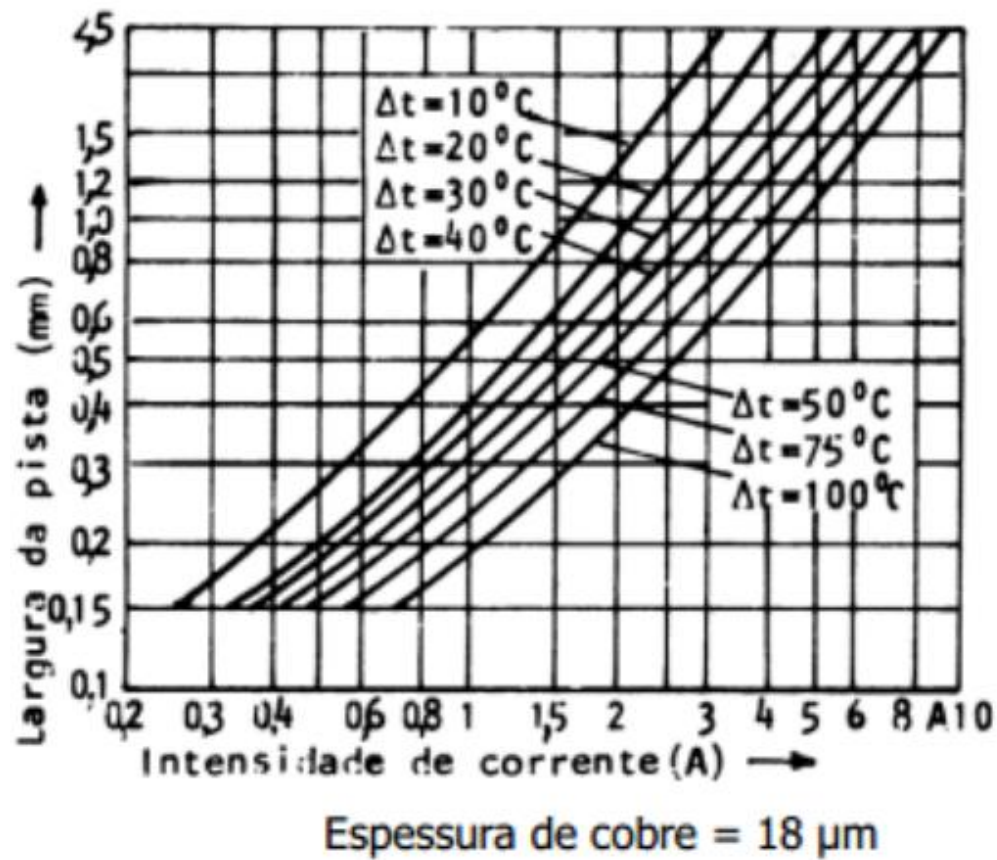


Fonte: adaptado de <https://www.pcbunlimited.com>, outubro de 2020.

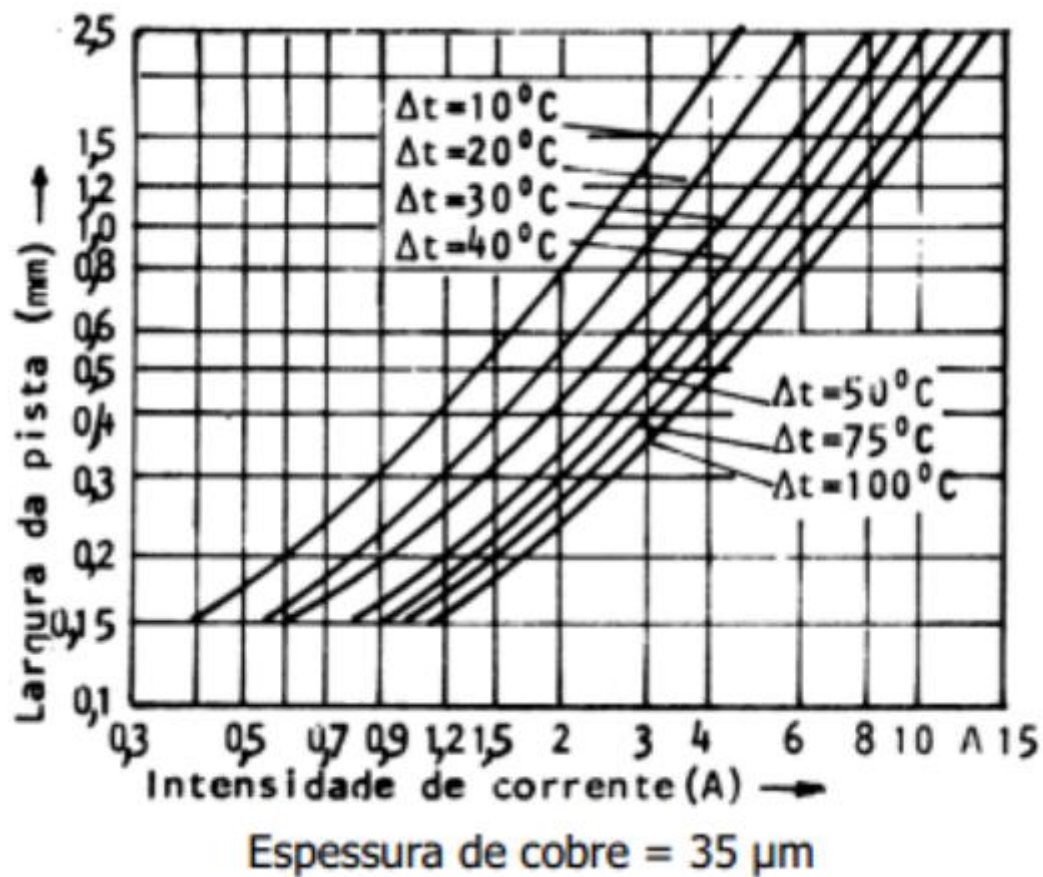
2.1.3 Dimensionamento de uma PCI

Existem alguns fatores que influenciam no dimensionamento de uma PCI e de suas trilhas, entre elas estão a temperatura do ambiente, corrente e a tensão entre as trilhas. Na norma NBR 8188/89 é possível consultar alguns ábacos que especificam a largura mínima da trilha a ser utilizada no projeto, conforme mostra a figura 6, e qual o espaçamento mínimo entre trilhas contíguas, mostrado na figura 7 (MEHL, 2011).

Figura 6: Ábaco da norma NBR 8188/89 para a largura de trilhas de uma PCI, com base na temperatura ambiente e na corrente aplicada

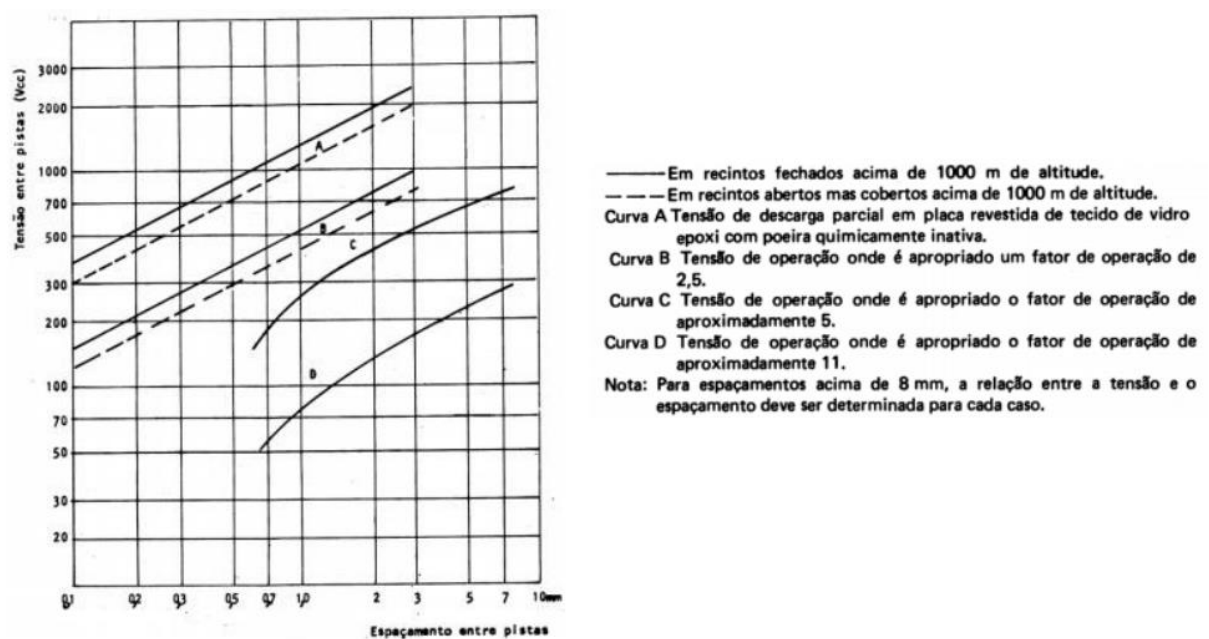


Fonte: <https://www.ufpr.br>, outubro de 2020.



Fonte: <https://www.ufpr.br>, outubro de 2020.

Figura 7: Ábaco da norma NBR 8188/83 para o espaçamento entre trilhas contíguas de uma PCI com base na tensão aplicada na trilha



Fonte: <https://www.ufpr.br>, outubro de 2020.

Os fornecedores também possuem certas limitações de produção, segundo os dados da empresa Luchtec, situada na cidade de Guarulhos no estado de São Paulo, as limitações são mostradas na tabela 2. Enquanto que para a empresa Micropress, localizada na cidade de Sacoma, em São Paulo, suas limitações de produção são mostradas na tabela 4.

Tabela 2: Limitações de confecção de uma PCI da empresa Luchtec, de São Paulo.

Parâmetro de produção	Capacidade Técnica
Tamanho máximo da placa	500x450 mm
Menor diâmetro de furo	0,5 mm
Espessura da placa	0,8 – 2,4 mm
Largura mínima dos condutores	0,30 mm (12 mils)
Menor distância entre condutores	0,30 mm (12 mils)

Fonte: <http://www.luchtec.com.br>, outubro de 2020.

Tabela 3: Limitações de confecção de uma PCI da empresa Micropress, de São Paulo.

Parâmetro de produção	Capacidade Técnica
Tamanho máximo da placa	420x570 mm
Menor diâmetro de furo	0,15 mm
Espessura da placa	0,1 – 3,2 mm
Largura mínima dos condutores	0,1 mm (4 mils)
Menor distância entre condutores	0,1 mm (4 mils)

Fonte: <https://www.micropress.com.br>, outubro de 2020.

2.1.4 Regras de anteprojeto

Um dos objetivos deste trabalho visa a redução do preço dos componentes do quadro elétrico e isso não foi somente enfatizado na busca pelos componentes eletrônicos para uma PCI, como também foram abordados para o projeto da placa de circuito impresso. A fim de saber quais itens agregam para o orçamento de uma PCI, foi feito um contato com a empresa Produza S/A, que atua na montagem de placas e produtos eletrônicos, localizada na cidade de Florianópolis, no estado de Santa Catarina. No entanto, a empresa Produza S/A não trabalha atualmente com a fabricação de placas de circuito impresso.

O levantamento feito com a empresa Micropress (Anexo D), nos direcionou para os principais pontos que eles avaliam para fazer o orçamento de uma PCI. Esses pontos foram necessários na etapa de projeto, uma vez que se objetiva a redução de custos, nós iremos utilizar para fazer o *layout* mais inteligente possível.

2.1.5 Software para desenvolvimento de uma PCI

Existem muitos *softwares* disponíveis para *download* que são dedicados a desenhar placas de circuito impresso, como é o caso do Proteus, EasyEDA, entre outros. Hoje esses programas utilizam bibliotecas enormes com componentes eletrônicos para inserir no projeto, sem precisar medir as distâncias dos terminais dos componentes.

O *software* escolhido para realizar o *layout* da placa de circuito impresso foi o EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*), uma empresa da norte-americana Autodesk. O programa apresenta-se com um ambiente amigável, possui uma ampla biblioteca de componentes eletrônicos e integração com outros *softwares* da plataforma Autodesk. Foi utilizada a versão 9.6.2 educacional do programa, ou seja, sem contrato mensal ou anual para o uso.

O EAGLE é um programa poderoso, que é fácil de utilizar para o desenho de PCIs. Outro fator que beneficia o *software* é o fato de ele estar há mais de 25 anos no mercado e estar disponível para *download* no *site* da Autodesk. Por ser um programa muito utilizado e estar a tanto tempo no mercado, é de se esperar que ele tenha bastante material na *internet*, e ele tem, tanto para amadores quanto para profissionais (GANTT, 2017). Além do mais, é possível encontrar centenas de tutoriais de como utilizar o *software*, através do *site* Youtube com dezenas de páginas em muitas linguagens diferentes, inclusive um canal patrocinado pela Autodesk chamado de Autodesk Eagle com mais de 200 vídeos tutoriais.

2.2 COMPONENTES ELETRÔNICOS

Como o projeto trata de uma adaptação, existe a necessidade de uma verificação de compatibilidade, com base nisso, foi realizada uma pesquisa dos componentes adequados à placa de circuito impresso.

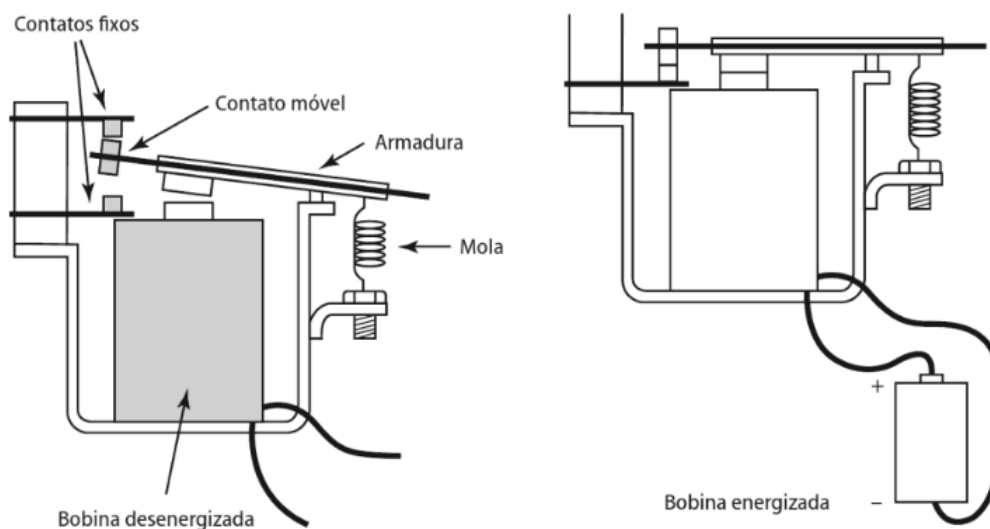
Segundo Santos (2018), o componente eletrônico deve apresentar durabilidade e estabilidade. Os componentes devem ter suas características analisadas para que sejam selecionados adequadamente com a intenção do uso em condições reais de utilização. Para isso, duas principais características devem ser levadas em consideração, como os parâmetros para especificação dos componentes, que são as definições necessárias para caracterizar comercialmente o componente devendo ser fornecido pelo fabricante. E os parâmetros para utilização do componente, que são as definições de orientação para utilização adequada dos componentes, nesse caso nem sempre é fornecido pelos fabricantes.

2.2.1 Relé eletromecânico

O relé eletromecânico é uma chave que é controlada através da energização ou não de um eletroímã, como é visto na figura 8. Quando energizado o eletroímã, um campo magnético é criado, movendo a armadura, fechando o contato mecânico entre dois pontos, fazendo assim, circular corrente entre seus contatos (PETRUZELLA, 2013).

Ao mesmo tempo que sua estrutura construtiva o torna robusto, é também seu ponto fraco, pois seus contatos mecânicos podem ficar colados, permitindo uma condução contínua de corrente. Com o avanço da tecnologia, surgiram os relés de estado sólido que não permitem que isso aconteça, como foi descrito na sequência. Atualmente a máquina OS 3000 utiliza somente relés eletromecânicos na sua interface de comando de 5V e 24V, mas foi estudado a possibilidade do uso de relés de estado sólido.

Figura 8: Relé eletromecânico



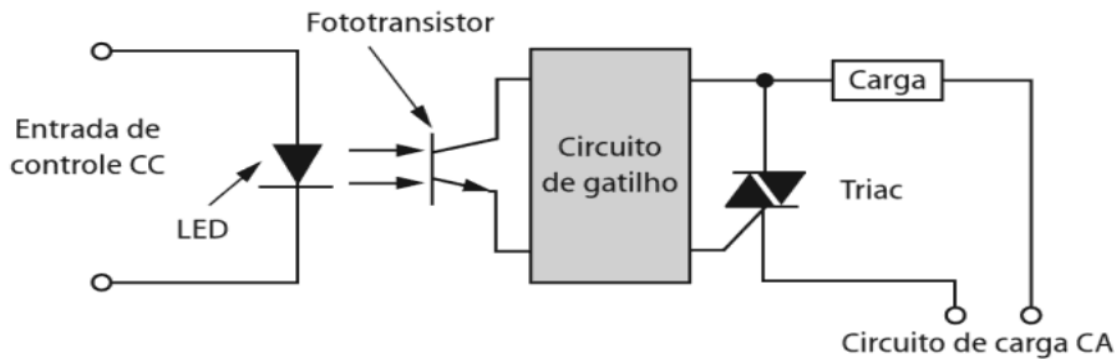
Fonte: Petruzella, F.D (2013)

2.2.2 Relé de estado sólido

Segundo Frank D. Petruzella (2013), assim como os relés eletromecânicos, a principal função dos relés de estado sólido é isolar o circuito de baixa tensão do circuito de potência. Como pode ser observado na figura 9, um diodo emissor de luz (LED) acoplado na entrada do circuito emite um sinal luminoso a partir do momento que uma corrente passa por ele, o diodo emissor de luz transmite sua luminosidade à um fototransistor acionando seu

gatilho (trigger) ao triac. Assim, o circuito é isolado da entrada pelo conjunto de componentes da mesma forma como o eletroímã isola a entrada do relé eletromecânico.

Figura 9: Relé de estado sólido opticamente acoplado



Fonte: Petruzella, F.D (2013)

Os principais diferenciais do relé de estado sólido comparando com os relés convencionais eletromecânicos, são:

- Maior expectativa de vida por não ter partes mecânicas móveis.
- Mais resistência a choques e vibrações.
- Tempo de resposta mais rápido.
- Seus contatos não apresentam repique (*bounce*)

Como todo componente eletrônico ele também apresenta algumas desvantagens:

- Contém semicondutores suscetíveis a danos causados por picos de corrente e de tensão.
- Os semicondutores de chaveamento têm uma resistência significativa em estado “ligado” e uma corrente de fuga relevante em estado “desligado”
- Sensíveis à aquecimento e tendem a falhar em um estado “ligado”.
- Custo mais elevado do que o relé eletromecânico.

2.2.3 Conector

Segundo SENAI-SP (2016), os conectores servem basicamente para facilitar a ligação elétrica de um ponto a outro. Existem muitos tipos de conectores, porém os mais utilizados são: Bornes, conectores de alimentação, conectores de dados e conectores para sensores e atuadores. Abaixo foram descritos os modelos mais comuns utilizados em equipamentos eletrônicos.

2.2.3.1 Bornes

São componentes que têm a função de ligar os fios à placa de circuito impresso. Normalmente a ligação é feita através de um parafuso, mas existem outras formas de fixação como sob pressão com molas. O modelo mais comum utilizado soldado em placas de circuito impresso é o KRE (figura 10), esse tipo de conector possui variações sendo por quantidade de vias ou nível de corrente que suporta. Esse tipo de conector também é utilizado para fazer a ligação entre a fonte de alimentação e a placa de circuito impresso.

Figura 10: Modelo de borne KRE de três vias



Fonte: SENAI-SP (2016)

2.2.3.2 Conectores de dados

Os conectores de dados têm a função de ligar um sinal externo à placa, porém possuem maior número de vias e suportam menos corrente como por exemplo o DB9 (Figura 11). Também há diversos tipos com número de vias, tipo de encaixe e tamanho diferentes. Existem modelos que são soldados diretamente na placa de circuito impresso ou interligado por fios.

Figura 11: Modelo de conector de dados DB9 macho e fêmea



Fonte: SENAI-SP (2016)

3 ANÁLISE DO PRODUTO

3.1 ESPECIFICAÇÃO DAS TRILHAS

De acordo com a norma NBR8188/89 detalhado no capítulo 2.1.3 foram obtidas as especificações das trilhas através do ábaco da figura 6. Nele é demonstrado a necessidade de comparar o valor de corrente para obter a largura de trilha específica.

Para facilitar a definição das trilhas para o projeto, foi montado a tabela 4 com os valores de corrente dos componentes com maior consumo.

Tabela 4: Valores de corrente máxima por componente

Componente	Consumo (A)
Laser	7
Tomada computador	3,34
Placa de controle e Scanner	3
Demais componentes	≤ 3

Fonte: Próprio autor, novembro de 2020.

Comparando os valores de corrente dos componentes de maior consumo com o ábaco da figura 6, foram criados 4 grupos de trilha detalhados na tabela 5. Pode-se observar que restaram trilhas de 2mm e 1,2mm que contemplam os componentes de maior consumo e 0,7mm para as demais trilhas suportando até 3A de corrente.

É interessante salientar que primeiramente foi tomada a decisão de utilizar trilhas de 0,5Oz (medida utilizada para representar a espessura do cobre). Porém, de acordo com os ábacos de especificação, as trilhas teriam que ficar bem maiores, tornando necessária a utilização de trilhas com espessura de 1Oz (os fabricantes não apresentaram uma opção intermediária).

Tabela 5: Definição de trilhas

Consumo	Largura de trilha (mm)	Limite de corrente da trilha (A)
7A	2	7
3,34A	1,2	5
$\leq 3A$	0,7	3

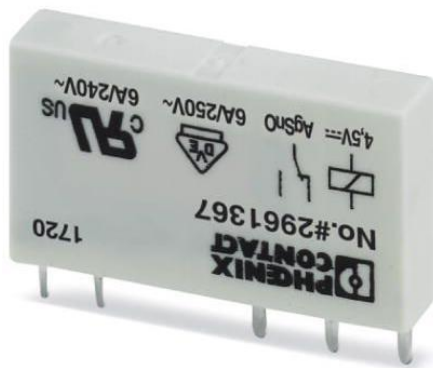
Fonte: Próprio autor, novembro de 2020.

3.2 DEFINIÇÃO DE COMPONENTES

Com base nos modelos mencionados no capítulo 2.2 e nos itens já existentes na máquina, foi decidido utilizar os seguintes componentes:

Relé eletromecânico (figura 12): foi utilizado o mesmo modelo já existente no projeto, porém não foi necessário utilizar a base, pois foi fixado diretamente na PCI, reduzindo o custo com componentes.

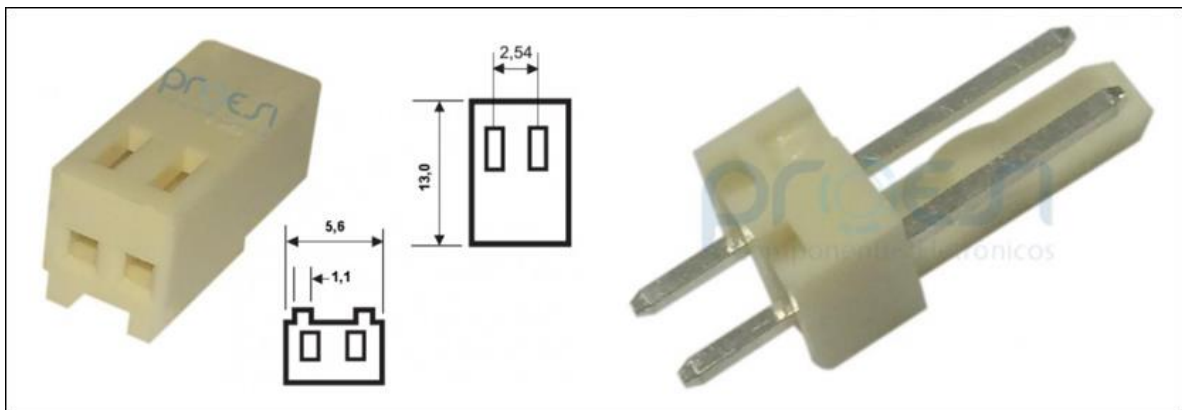
Figura 12: Relé eletromecânico da PHOENIX CONTACT



Fonte: <https://www.phoenixcontact.com/>, abril de 2021

Conector KK para os ventiladores: Os conectores foram selecionados devido sua praticidade de conexão e baixo custo.

Figura 13: Conector KK macho e fêmea selecionados



Fonte: <https://proesi.com.br/>, setembro de 2020

Conector KRE para os cabos 2,5mm²: Os conectores foram definidos seguindo os modelos citados no capítulo 3.2, são mais adequados para os circuitos de maior potência e para os cabos 2,5mm².

Figura 14: Conector KRE para cabo 2,5mm²



Fonte: <https://www.phoenixcontact.com/>, setembro de 2020

Conectores tipo D: Os conectores do tipo D foram selecionados com base nos componentes já existentes na máquina. Na figura 15 na imagem A, trata-se do conector DB9 para os cabos manga de 9 vias, na imagem B, o conector DB15 para os cabos manga de 15 vias e na imagem C, conector DB25 para os cabos manga de 25 vias.

Figura 15: Conectores D selecionados



Fonte: <https://proesi.com.br/>, setembro de 2020

3.3 VARIÁVEIS DE CONTROLE DE VIABILIDADE

De acordo com informações internas da empresa, o tempo de montagem completo da máquina da OS 3000 *Smart* corresponde atualmente a 80 horas, enquanto que a geração anterior da máquina, modelo sem *Smart*, com menos componentes, leva 36 horas. Essa diferença de tempo é um dos principais motivos pelo estudo da máquina, pois é de interesse da empresa que o modelo sem *Smart* seja descontinuado, no entanto, ainda é inviável o tempo de

montagem do modelo *Smart*. Analisando a tabela 6 abaixo estimou-se a quantidade de componentes por modelo de máquina, quantidade de ligações e tempo de montagem, comparando os modelos com e sem *Smart*, tendo em vista que a máquina sem *Smart*, possui métricas aceitáveis.

Tabela 6: Comparativos dos modelos com e sem *Smart*

Métricas	Sem Smart	Com Smart	Diferença percentual
Tempo de montagem total (horas)	36	80	122,22%
Quantidade de componentes eletrônicos	56	70	25%
Quantidade de cabos fabricados	19	22	15,79%
Total de pontos de ligações com terminais	242	262	8,26%
Valor médio gasto com bornes e seus acessórios (R\$)	232,89	208,19	-11,04%
Valor médio gasto com relés e seus acessórios (R\$)	414,98	742,17	78,84%
Valor médio total gasto com bornes e relés (R\$)	647,87	950,36	46,69%
Custo aproximado da mão de obra de montagem da máquina inteira (R\$)	500,72	1112,72	122,22%

Fonte: Próprio autor

3.4 MEDIÇÕES DOS RESULTADOS

Para a primeira métrica que aborda o tempo de montagem total da máquina, foi disponibilizado o protótipo para o setor de produção realizar a montagem completa da máquina para que seja uma comparação justa com os valores obtidos na tabela 6. Portanto, a medição do tempo foi feita em horas e deve contemplar a montagem completa da máquina.

Na segunda métrica, foi refeita a contagem dos componentes elétricos e eletrônicos que possuem terminais de engate rápido ou parafuso, que se resumiu a diminuir do valor atual da tabela a quantidade de relés e bornes inclusos na PCI. Em seguida, a métrica da quantidade de cabos fabricados foi feita através da recontagem da quantidade nova de cabos fabricados na empresa.

Para as últimas quatro métricas referentes a custo, a mão de obra foi calculada para um salário médio de 1700 reais, com carga horária mensal de 220 horas e o encargo trabalhista de 1,8%. Após o orçamento da PCI, foi feito um comparativo de valores e analisado o cenário geral do projeto. Dessa forma, na etapa de conclusão foi entrado em um consenso com a empresa para avaliar se os valores alcançados foram suficientes para que seja implementado.

4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

4.1 PROJETO ELÉTRICO

Antes de fazer o projeto da PCI, houve a necessidade de refazer o projeto elétrico, removendo todos os componentes de trilho propostos por esse trabalho, relés e bornes de passagem, que foram incluídos na PCI. O projeto foi otimizado de forma que reduziu a quantidade de fios unipolares e os cabos fabricados com conectores tipo D, contemplou uma parcela significativa dessas ligações, evitando o extenso processo de dimensionar um fio unipolar, inserir luva de identificação em ambos os lados do cabo, decapar o fio, inserir terminal tubular e grimpar, conectar nos equipamentos e por fim inserir as identificações na luva.

O *software* utilizado para refazer o projeto elétrico foi o SolidWorks *Electrical*, pois atualmente é o *software* licenciado para se trabalhar na empresa Welle Tecnologia Laser. Seguindo o padrão dos projetos elétricos feitos na empresa, o projeto refeito deve conter páginas de *layout* do quadro elétrico, desenho tecnológico, diafio, lista de cabos, lista de potências, e lista de materiais. Por motivo de confidencialidade, o projeto completo não foi incluído como anexo nesse trabalho, e foi destacado pontualmente conforme as necessidades. Em anexo (anexo E) está disponível a página do projeto que representa as ligações da PCI.

Depois de finalizado o projeto elétrico, foi possível fazer as seguintes comparações, presentes na tabela 7, entre a máquina atual, com e sem a PCI proposta por esse trabalho, onde se registrou uma queda significativa nos pontos de análise que interessam esse trabalho.

Tabela 7: Comparativo máquina *Smart* com e sem PCI

Métricas	Sem PCI	Com PCI	Diferença percentual
Quantidade de componentes eletrônicos	70	28	-150%
Quantidade de cabos fabricados	22	36	63,64%
Total de pontos de ligações com terminais	262	138	-89,96%

Fonte: Próprio autor

4.2 PROJETO DA PCI

Com os componentes já definidos conforme capítulo 3, foi criada a tabela 8 com as características dos componentes que contemplam a PCI para facilitar o desenho do esquema

elétrico. Foi necessário adicionar um diodo em antiparalelo às bobinas dos relés por recomendação do fabricante para proteção do componente.

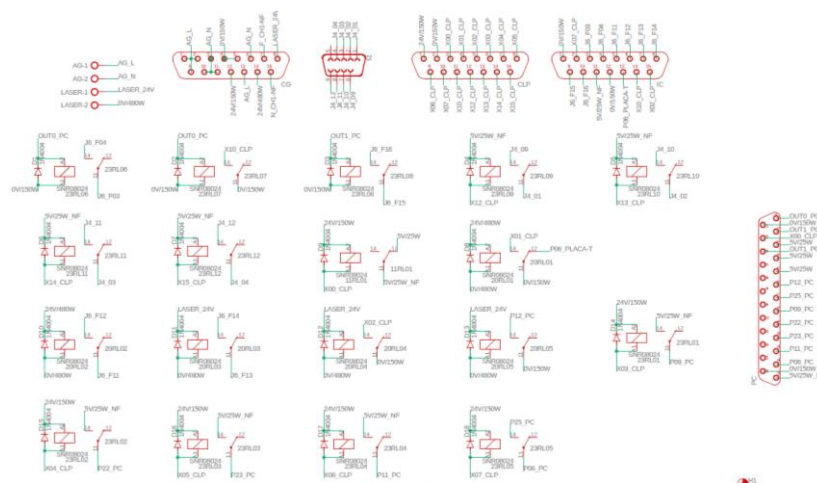
Tabela 8: Lista de componentes

Componente	Posição	Quantidade
Relé eletromecânico 5V/6A (Phoenix contact)	23RL06, 23RL07, 23RL08, 23RL09, 23RL10, 23RL11 e 23RL12.	7
Relé eletromecânico 24V/6A (Phoenix contact)	11RL01, 20RL01, 20RL02, 20RL03, 20RL04, 20RL05, 23RL01, 23RL02, 23RL03, 23RL04 e 23RL05.	11
DB9	AC2 e SI.	2
DB15	AF, AT, CG, CLP e IC.	5
DB25	AC1 e PC.	2
KRE 2 vias	AG e LASER.	2
Diodo 1N4007	D1 a D18	18

Conforme mencionado no capítulo 2 o *software* selecionado para desenhar a PCI foi o EAGLE. Para a inserção dos componentes foi necessário baixar algumas bibliotecas de componentes contemplando os conectores DB e os relés.

A figura 16 demonstra parte do diagrama esquemático com os componentes selecionados e as ligações entre eles.

Figura 16: Parte do diagrama esquemático



Fonte: Próprio autor, 2021.

O *layout* da PCI também foi confeccionado utilizando o *software* EAGLE. Ao finalizar o esquema elétrico, basta selecionar a opção “*generate/switch to board*” para habilitar a função *layout* de trilhas. Para o desenvolvimento do desenho, foi utilizado a ferramenta “*autotrace*”, nela foram definidas as características de espessura e espaçamento entre as trilhas.

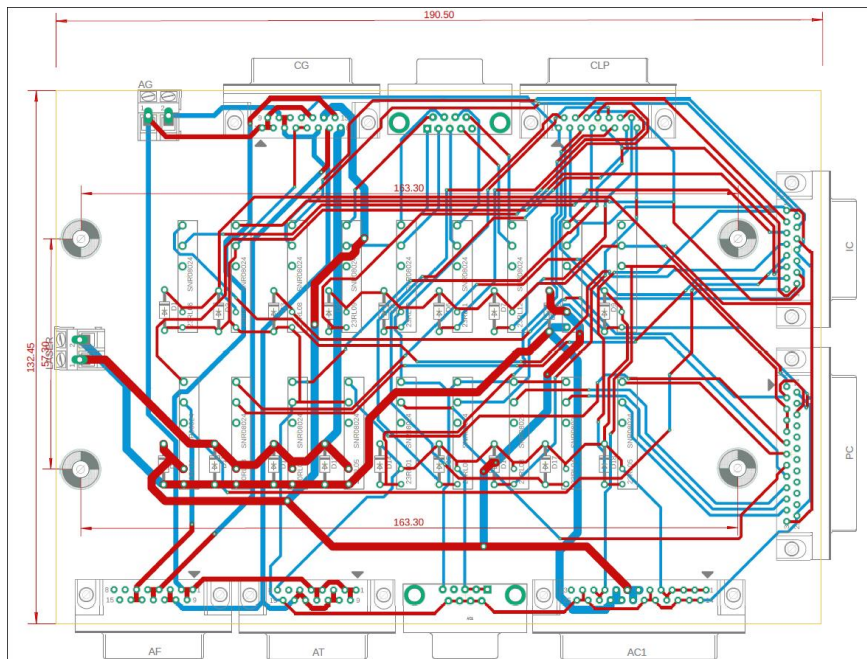
No primeiro *layout* enviado para a realização do orçamento, foi encontrado uma dificuldade relacionada ao espaçamento mínimo entre trilhas definido pelo fabricante. Foi necessário redesenhar o *layout* de acordo com as recomendações (menor trilha com 0,38mm e menor isolação entre trilhas de 0,4mm).

Outro problema enfrentado foi a definição da espessura do cobre. Durante a elaboração do desenho do primeiro o protótipo foi utilizado a espessura de 0,5Oz (unidade de medida definida para espessura do cobre que é equivalente a 17,5 μm) para reduzir o custo do protótipo, porém foi percebido que as trilhas ficariam muito largas, tornando-se inviável, em razão da falta de espaço na PCI. Diante disso, o *layout* do projeto foi refeito, ajustando a espessura para 1Oz (equivalente a 35 μm), possibilitando uma menor largura das trilhas e facilitando o desenho da PCI.

Devido ao grande volume de trilhas contidas na placa foi necessária a separação das *layers* em duas camadas que estão representadas na figura 17 em vermelho *top* (representa a parte de cima da PCI) e azul *bottom* (representa a parte de baixo da PCI).

As dimensões da placa foram definidas de acordo com o espaço reservado, e ficou com 190,5mm de largura e 132,45mm de altura.

Figura 17: Layout da PCI



Fonte: Próprio autor, 2021.

4.3 ORÇAMENTOS DA PCI

Na expectativa de obter um menor custo para a realização do protótipo, foi encaminhado o *layout* via e-mail para sete empresas. Na tabela 9 constam os detalhes dos orçamentos.

A fabricação da PCI foi feita com a empresa G, pois apresentou menor custo, além disso, a empresa apresentou algumas vantagens como facilidade de comunicação e a opção de protótipos para pessoas físicas (sem CNPJ).

Tabela 9: Orçamento da PCI

Empresa	Valor orçado	Quantidade de placas orçado	Observação
A	R\$1.319,45	5	Para 1 placa o orçamento ficou em R\$1.034,93.
B	-	-	Empresa encontrou falhas na leitura do arquivo e não foi fornecido o orçamento.
C	R\$1.006,46	5	Orçamento online.
D	-	-	Empresa não trabalha com o formato de arquivo enviado (.brd) e o <i>software</i> EAGLE não apresenta opção compatível (GERBER RS274X).
E	-	-	Não obtivemos resposta do e-mail enviado.
F	-	-	Não obtivemos resposta do e-mail enviado.
G	R\$690,08	5	Melhor oferta. Para 30 placas o orçamento ficou em R\$1.158,90 (R\$38,63 por placa).

Fonte: Próprio autor

4.4 COMPARATIVO FINANCEIRO ENTRE COMPONENTES

Após o orçamento para a fabricação da PCI, foi possível realizar as seguintes comparações detalhadas, presentes na tabela 10, entre os modelos sem *Smart*, com *Smart* e *Smart* com PCI, em duas versões, com relés eletromecânicos e relés de estado sólido.

Os custos dos componentes foram feitos através da média de compras dos anos 2017, 2018, 2019 e 2020, utilizando um fator multiplicativo para esconder os valores reais, aos quais se tiveram registro de compras, pela empresa Welle Tecnologia Laser. A tabela 10 considera o orçamento para fabricação de 30 placas de circuito impresso.

Tabela 10: Comparativo financeiro de todas as versões

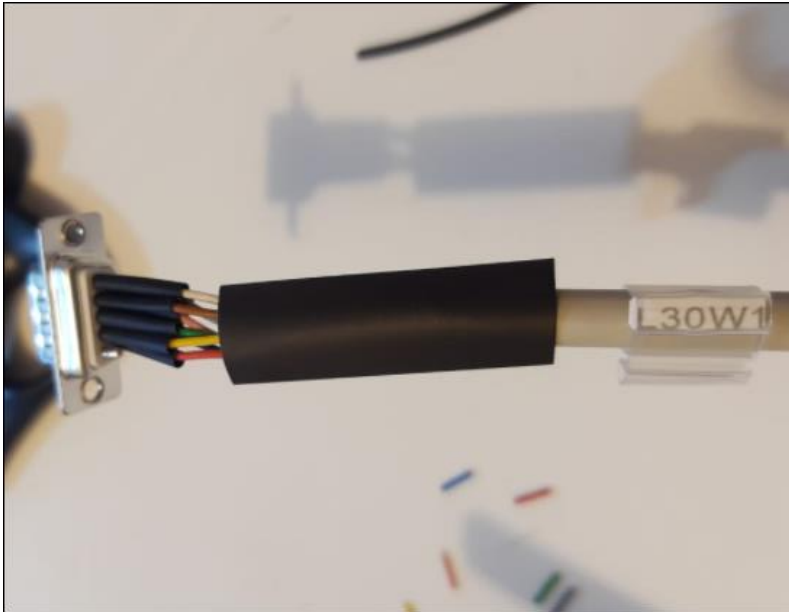
Item	Sem Smart	Com Smart	Smart com PCI (relé eletromecânico)	Smart com PCI (relé de estado sólido)
Bornes de passagem e seus acessórios	R\$232,89	R\$208,19	R\$0,0	R\$0,0
Relés Eletromecânicos 5V e seus acessórios	R\$223,54	R\$391,20	R\$189,77	R\$0,0
Relés Eletromecânicos 24V e seus acessórios	R\$191,44	R\$350,97	R\$242,00	R\$0,0
Relés Estado Sólido 5V	R\$0,0	R\$0,0	R\$0,0	R\$748,30
Relés Estado Sólido 24V	R\$0,0	R\$0,0	R\$0,0	R\$1.147,63
Conectores para PCI	R\$0,0	R\$0,0	R\$29,20	R\$29,20
Orçamento unitário PCI (TEC-CI)	R\$0,0	R\$0,0	R\$38,63	R\$38,63
Total dos custos	R\$647,87	R\$950,36	R\$499,39	R\$1963,76

Fonte: Próprio autor

4.5 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO CIRCUITO ELÉTRICO

Para a fabricação dos cabos, que possuem conectores tipo D em suas pontas, foi adotado como padrão, estancar os pinos dos conectores, tal como as vias decapadas. Também foi utilizado termo retrátil para o isolamento das vias, como mostra a figura 18. Para a fabricação de cabos unipolares, o cabo foi escalonado, decapado e inserido terminal tubular.

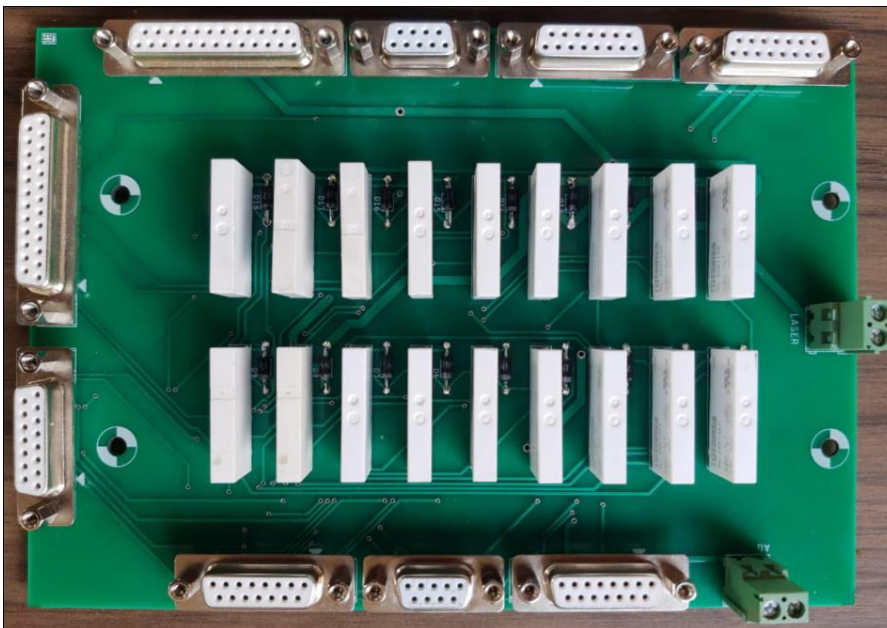
Figura 18: Padrão de montagem dos cabos



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como não foi possível montar o circuito em uma estrutura de máquina, com seus respectivos periféricos, foi montado um painel de simulação com os componentes necessários para o funcionamento e validação do circuito.

Figura 19: PCI montada



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 20: Montagem para simulação



Fonte: Próprio autor, 2021.

4.6 PROCESSO DE VALIDAÇÃO

Antes da energização dos componentes, foram feitos testes para certificar que não existe curto-circuito no circuito, medindo continuidade entre fase e neutro, como também entre terra e fase, terra e neutro, terra e as saídas das fontes, e entre os próprios pinos das saídas das fontes.

Depois do teste anterior ser feito, foi retirado os conectores de alimentação dos componentes para evitar que qualquer tensão não desejada energize o equipamento. Nessa etapa, o equipamento já pode ser energizado na tomada para medir se as tensões desejadas estão chegando nos seus respectivos pontos. Uma vez que estão testados, os equipamentos podem ser conectados.

Para validar o circuito, foi utilizado uma jiga de testes, que atualmente já é utilizada pela empresa. Com ela, é possível validar as entradas e saídas da placa de controle e os contatos de integração que simulam botão de emergência, *reset* e *start*. A máquina também possui um painel de diagnósticos que foi utilizado para identificar em que estado a máquina está.

Figura 21: Jiga de testes



Fonte: Próprio autor, 2021.

Por fim, utilizando o circuito elétrico desse estudo, foi instalado um laser de 20 watts e uma lente de gravação de 290 mm² para ser gravado uma arte em uma chapa de aço inoxidável. Para criar e editar a arte, foi utilizado o *software* de integração da Welle.

Figura 22: Gravação teste em chapa de aço



Fonte: Próprio autor, 2021.

5 CONCLUSÃO

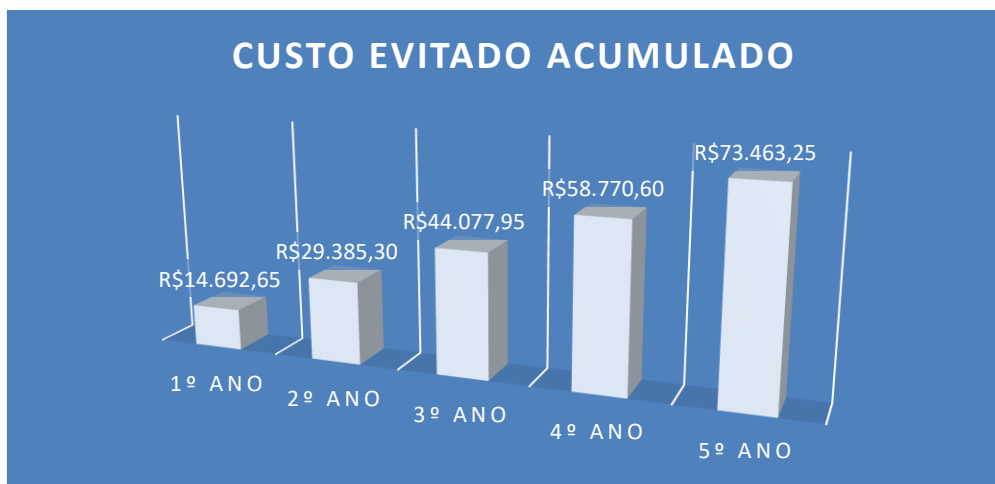
Ao fim dos estudos, notou-se que a proposta desse trabalho atingiu com satisfação uma redução significativa de 47,45% no gasto com componentes, representando uma economia de R\$450,97 entre o modelo com e sem PCI, utilizando relés eletromecânicos. Se as vendas nos anos de 2017, 2018 e 2019 utilizassem esse projeto, representaria uma economia acumulada de R\$13.078,13.

Para os custos de mão de obra, totalizam atualmente uma média de R\$1.112,72 com base na carga horária de 80 horas para montagem da máquina. Devido à falta de uma estrutura de máquina disponível para a montagem completa, com base na quantidade de pontos de conexão a serem ligadas, estima-se que o tempo de montagem será de aproximadamente 42 horas, o que gera uma redução de 47,50%, resultando em uma economia de R\$528,54. Para os anos de 2017, 2018 e 2019, representaria uma economia acumulada de R\$15.327,66. Mesmo o tempo de montagem sendo superior ao modelo sem *Smart*, o tempo alcançado se tornou satisfatório, tendo em vista que a máquina possui mais componentes.

Mesmo com os valores economizados, verificou-se que é inviável a utilização de relés de estado sólido, devido seu custo elevado, comparado aos relés eletromecânicos. Com base nos dados do fabricante, os relés eletromecânicos utilizados possuem uma vida útil de 2×10^7 ciclos de manobras, o que os tornam satisfatórios para o uso.

Portanto, o trabalho conseguiu um resultado satisfatório, atingindo uma economia média de R\$979,51 por produto. Está representado no gráfico 1 o custo evitado acumulado em cinco anos com componentes e mão de obra considerando a venda de 15 máquinas por ano para a linha OS 3000 *Smart*.

Gráfico 1: Custo evitado acumulado em 5 anos



Fonte: Próprio autor, 2021.

REFERÊNCIAS

ARAIN M, et al. What is a pilot or feasibility study? A review of current practice and editorial policy. **BMC Medical Research Methodology**. V. 10, n. 67, 2010.

BERJIN, Thomas J. **50 Years of Army Computing from ENIAC to MSRC**. 2000.

CIRIBELLI, Marilda Corrêa. **Como Elaborar uma Dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. Editora 7 letras, 2003.

DANIEL, Calvin. **About the History of Gerber File in PCB Fabrication; Part 1**. Disponível em: <<https://www.yunaweb.net/about-the-history-of-gerber-file-in-pcb-fabrication-part-1/>>. Acesso em: 6 de nov. 2020.

DELL. **DELL Regulatory and Environmental Datasheet**. Disponível em:<<https://downloads.dell.com/rdoc/dell%20inspiron%203584%20p75f%20p75f005%20dell%20regulatory%20and%20environmental%20datasheet.pdf>>. Acesso em: 12 de nov. 2020.

DELOITTE. **As PMEs que mais crescem no Brasil: As práticas das empresas emergentes em saúde e bem-estar**. Disponível em:<<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/conteudos/pmes/PME2014.pdf>>. Acesso em: 12 de nov. 2020.

GANTT, Charles. **Getting Started Designing Your First PCB**. Disponível em:<<https://www.element14.com/community/community/publications/ebooks>>. Acesso em: 25 de out. 2020.

LENSON, Barry. **A Brief History of Printed Circuit Boards and the Gold They Contain**. Disponível em: <<https://www.specialtymetals.com/blog/2014/3/3/a-brief-history-of-printed-circuit-boards-and-the-gold-they-contain>>. Acesso em: 6 de nov. 2020.

MEHL, Edwaldo Luiz de Matos. **Conceitos Fundamentais sobre Placas de Circuito Impresso**. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf>. Acesso em: 21 de out. 2020.

PETRUZELLA, F.D. **Eletrotécnica I: Série Tekne**. Ed. 1. Editora AMGH, 2013.

PHOENIX CONTACT, **Conector KRE**. Disponível em: <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1700540&library=brpt&pcck=P-11-01-05&tab=1&selectedCategory=ALL>>

>, Acesso em: 14 de novembro de 2020.

PHOENIX CONTACT, **Relé de estado sólido**. Disponível em: < <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2966595&library=brpt&pcck=P-16-06-01-02&tab=1&selectedCategory=ALL>>, Acesso em: 14 de novembro de 2020.

PROESI, **Conectores DB**. Disponível em:< <https://proesi.com.br/>>, Acesso em: 14 de novembro de 2020.

PROESI, **Conector KK**. Disponível em:< <https://proesi.com.br/>>, Acesso em: 14 de novembro de 2020.

SACOMANO, José. **Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos**. Editora Blucher, Ed.1. 2018.

Sanches, D. **Componentes eletrônicos: Tópicos especiais em eletrônica - III**. Clube de Autores, 2010.

SANTOS, Sandro. **Introdução à Indústria 4.0: Saiba tudo sobre a Revolução das Máquinas**. Editora Clube de Autores, 2018.

SENAI-SP. **Técnicas para instalação e montagem de circuitos eletrônicos**. Ed. 1. São Paulo: SENAI-SP, 2016.

6 ANEXOS

Anexo A : Carta de Autorização

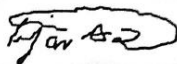
CARTA DE AUTORIZAÇÃO

Os alunos Felipe Canarim, RG 4722071 e Winicius Vendrame Corrêa, RG 6129100, regularmente matriculados no Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade do Sul de Santa Catarina, no município de Palhoça, estão desenvolvendo seu TCC- Trabalho de Conclusão de Curso, que tem como objetivo a otimização de circuito eletrônico de uma máquina de gravação a laser, e tem como finalidade avaliar as competências dos alunos na aplicação dos conhecimentos adquiridos no Curso.

Assim, solicitamos sua autorização para que os alunos possam citar o nome da empresa em seu Trabalho de Conclusão de Curso.

O citado trabalho de conclusão de curso é orientado pelo Prof. Esp. Eng. Djan de Almeida do Rosário.

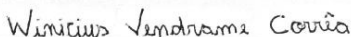
Palhoça, 13 de novembro de 2020.



Prof. Esp. Eng. Djan de Almeida do Rosário
Prof. Orientador



Felipe Canarim
Aluno



Winicius Vendrame Corrêa
Aluno

A Welle Tecnologia Laser S/A **ACEITA** que os alunos possam citar o nome da empresa em seu Trabalho de Conclusão de Curso.



Welle Tecnologia Laser S/A
Karen Santiago

10 313 289/0001 - 52

WELLE TECNOLOGIA LASER S/A

Avenida das Águias, 526

PEDRA BRANCA - CEP 88137 - 280

PALHOÇA - SC



Palhoça, 13 de novembro de 2020

Anexo B : Registro de Patente US1563731

Dec. 1, 1925.

C. DUCAS

1,563,731

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 1

Fig. 1.

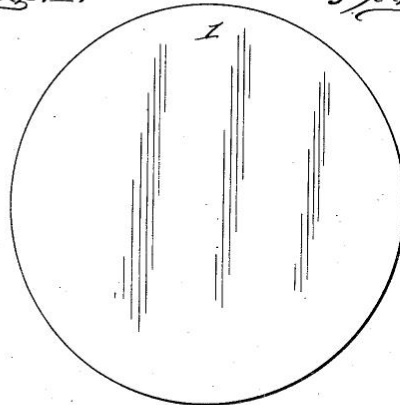


Fig. 2.

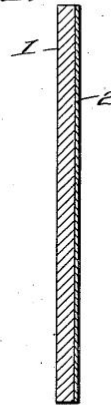


Fig. 3.

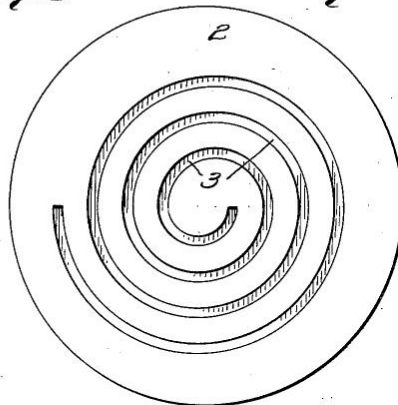


Fig. 4.

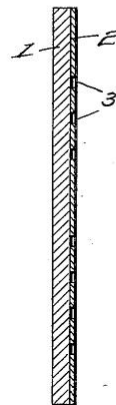


Fig. 5.

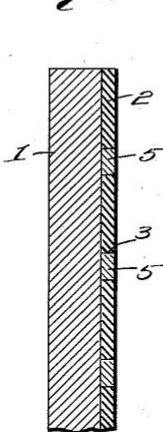
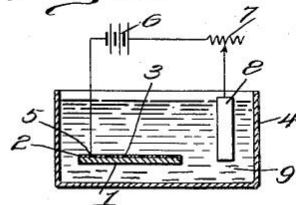


Fig. 5.

Inventor
Charles Ducas.

By

John B. Brady
Attorney

Dec. 1, 1925.

C. DUCAS

1,563,731

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 2

Fig. 7.

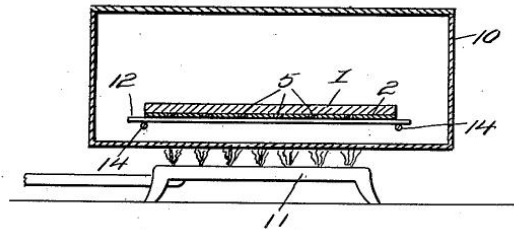


Fig. 8.

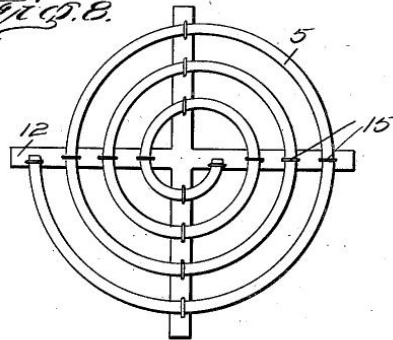


Fig. 9.

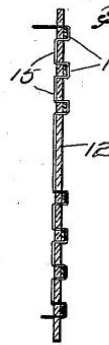


Fig. 10.

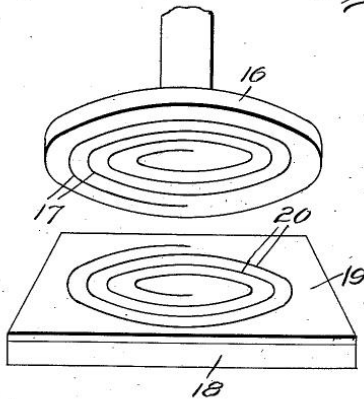


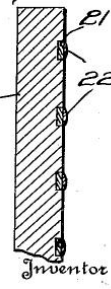
Fig. 11.



Fig. 12.



Fig. 13.



Inventor

Charles Ducas.

By

John B Brady

Attorney

Dec. 1, 1925.

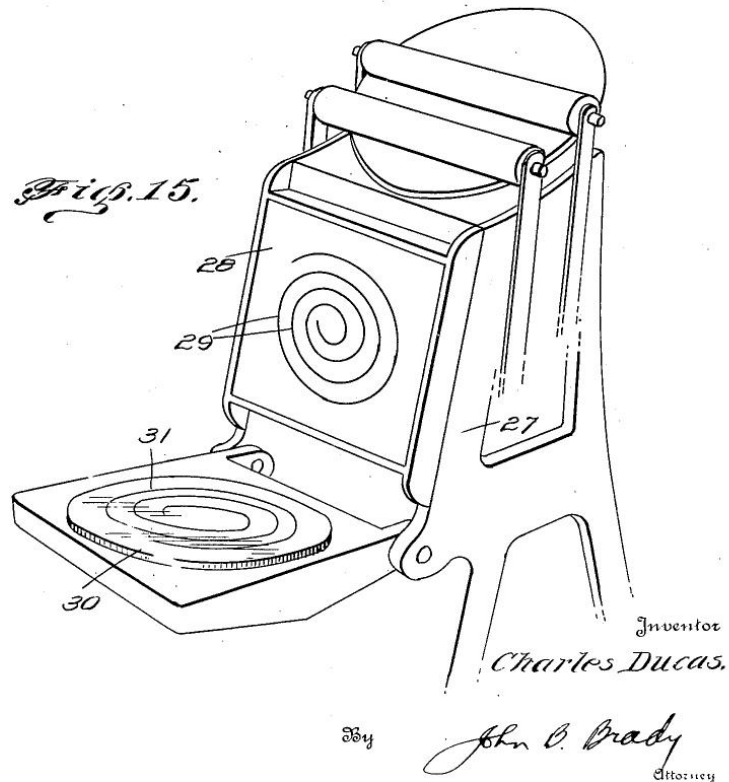
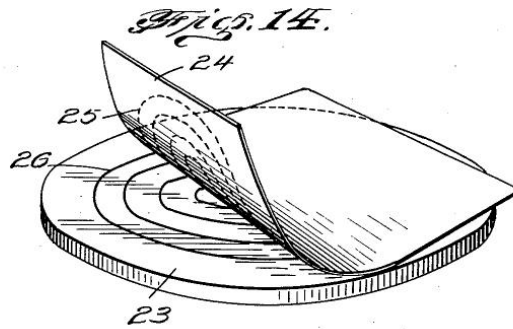
C. DUCAS

1,563,731

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 3



Dec. 1, 1925.

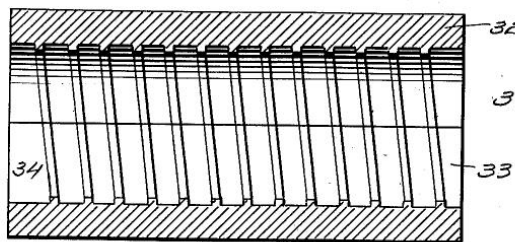
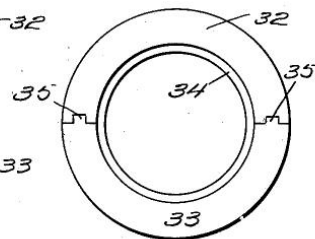
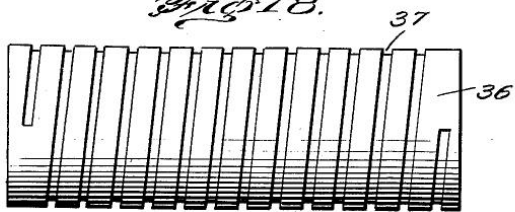
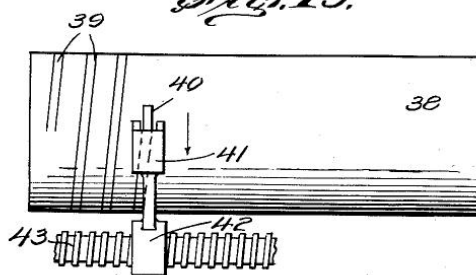
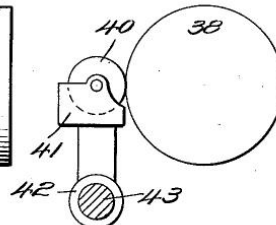
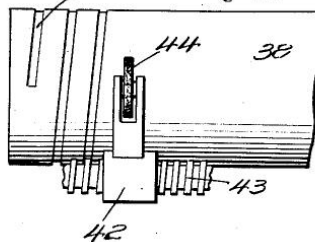
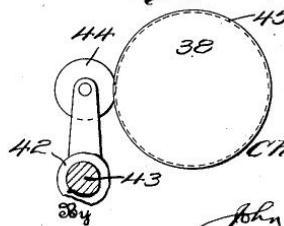
C. DUCAS

1,563,731

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 4

Fig. 16.*Fig. 17.**Fig. 18.**Fig. 19.**Fig. 20.**Fig. 21.**Fig. 22.*

Inventor

Charles Ducas.

John O. Brady

Attorney

Dec. 1, 1925.

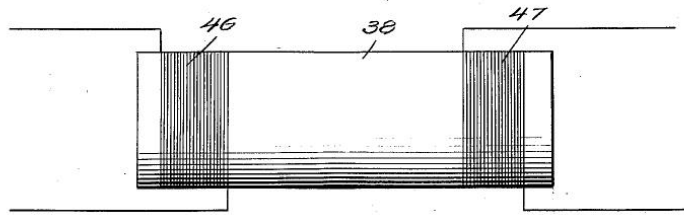
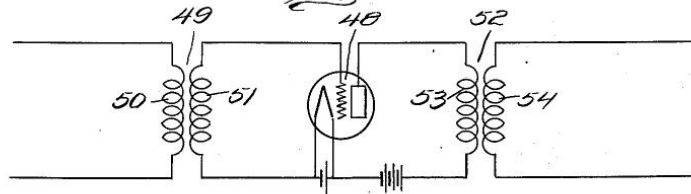
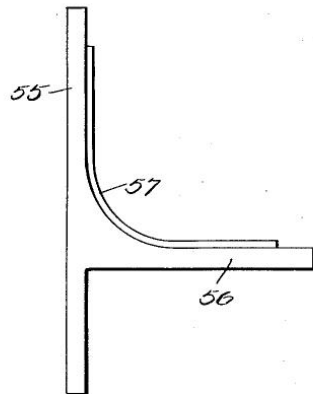
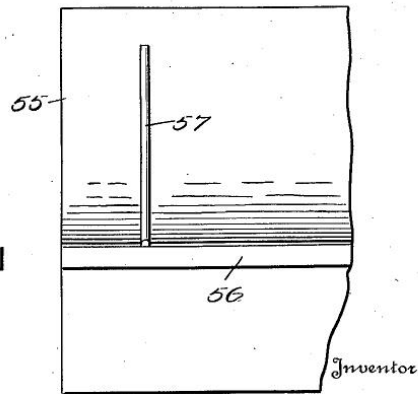
1,563,731

C. DUCAS

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 5

Fig. 23.*Fig. 24.**Fig. 25.**Fig. 26.*

Inventor

Charles Ducas.

By

John V. Brady

Attorney

Dec. 1, 1925.

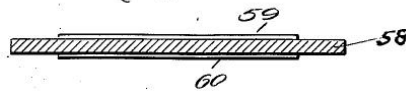
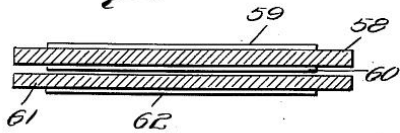
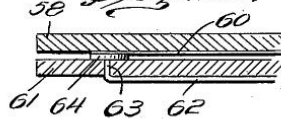
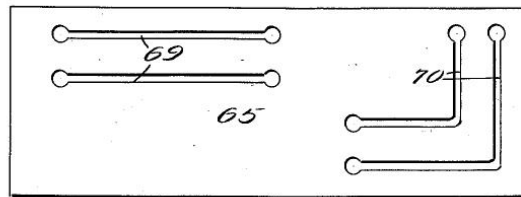
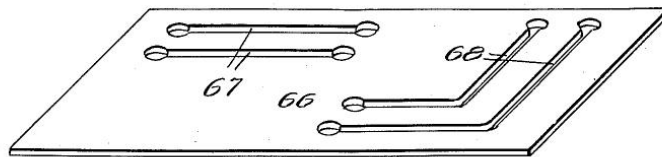
C. DUCAS

1,563,731

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

Filed March 2, 1925

6 Sheets-Sheet 6

Fig. 27.*Fig. 28.**Fig. 29.**Fig. 30.**Fig. 31.*

Inventor
Charles Ducas.

By

John B. Brady

Attorney

Patented Dec. 1, 1925.

1,563,731

UNITED STATES PATENT OFFICE.

CHARLES DUCAS, OF NEW YORK, N. Y.

ELECTRICAL APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME.

Application filed March 2, 1925. Serial No. 12,651.

To all whom it may concern:

Be it known that I, CHARLES DUCAS, a citizen of the United States, residing at New York, in the county of New York and State of New York, have invented a certain new and useful Improvement in Electrical Apparatus and Methods of Manufacturing the Same, of which the following is a specification.

My invention relates broadly to the manufacture of electrical apparatus and more particularly to a method of reducing manufacturing costs in the production of coil windings and the circuit connections between various pieces of electrical apparatus comprising the complete apparatus.

One of the objects of the invention is to provide a method for decreasing factory costs in the production of coil windings and in the assembly of electrical apparatus where electric conductors are provided between the separate pieces of electrical apparatus forming the complete apparatus unit with a view of decreasing the ultimate cost of the apparatus to the consumer.

Another object of my invention is to provide an electrolytic process for use in the manufacture of coils and the arrangement of electrical circuits in which such coils are connected whereby manufacturing costs and production time may be considerably decreased.

Still another object of my invention is to provide a system for electro-plating the inductance windings and electrical circuit arrangements upon a supporting surface eliminating the necessity of winding individual strands of wires and assembling bus-bar connectors between separate pieces of apparatus.

Still another object of my invention is to provide a method of manufacturing electrical apparatus wherein the effective resistance of the conductors and electrical circuit connections in the apparatus may be considerably decreased over that now obtainable in electrical apparatus and circuits constructed in accordance with methods heretofore known.

A further object of the invention is to provide a system in which sets of tools, dies and templates may be originally constructed from which electrical circuits and inductances may be struck off by processes of printing, stenciling, painting or applications of decalcomania processes, whereby a film of conductive material may be deposited or exposed upon a surface over which a conductive layer having extremely low radio frequency resistance may be deposited in the formation of the electrical windings and circuits.

My invention relates to the series of steps which comprise the processes for the manufacture of the inductance windings and the arrangement of the electrical circuits as will be hereinafter described in more detail. I have illustrated my invention as particularly applicable in the manufacture of radio receiving apparatus, but it will be understood that the invention is applicable to the manufacture of other kinds of electrical apparatus and that limitations of the invention to the radio field are not intended.

My invention has been illustrated in the accompanying drawings, in which:

Figure 1 shows a blank made up of a low melting point conductive material which may be used in the process of manufacturing a flat spiral inductance; Fig. 2 is a side view of the blank illustrated in Fig. 1 showing the surface thereof coated with a film of non-conductive material; Fig. 3 is a view of the blank wherein a spiral groove has been cut through the film of non-conductive material exposing the surface of the conducting material in the groove; Fig. 4 is a cross sectional view of the blank illustrated in Fig. 3; Fig. 5 is a diagrammatic view of the electro-plating process in which a spiral conductor of extremely low radio frequency resistance such as silver, copper or gold, is electrolytically deposited within the spiral groove of the blank illustrated in Fig. 4; Fig. 6 is an enlarged cross sectional view of the blank after it is removed from the bath and showing the electrolytically deposited metal forming the spiral turns of

1,563,731

the inductance; Fig. 7 is a diagrammatic view illustrating the step by which the non-conductive material and conductive material of low melting point may be removed from the electrolytically formed spiral inductance; Figs. 8 and 9 are views of the completed inductance formed by the electrolytic process; Fig. 10 is a diagrammatic view illustrating a method of die-pressing the grooves in which a spiral inductance may be electrolytically deposited in accordance with steps illustrated in Figs. 11, 12 and 13; Fig. 14 is a diagrammatic view illustrating a method of depositing an inductance design upon a transfer disk by a decalcomania process; Fig. 15 illustrates a method of printing a design of flat spiral inductance upon a supporting disk preparatory to electrolytically depositing low radio frequency resistance metal thereon; Figs. 16, 17 and 18 illustrate the application of my invention to tubular shaped inductances; Figs. 19, 20, 21 and 22 show other methods of forming tubular shaped inductances; Figs. 23 and 24 illustrate the applications of inductances formed in accordance with the process of my invention; Figs. 25 and 26 show methods of electro-plating connections from horizontal to vertical panels on which electrical apparatus may be mounted and connected together through the electrolytically deposited metal; Fig. 27 is a cross sectional view of a panel on which independent electro-plated connections may be provided on opposite sides thereof, electrically insulated from each other; Fig. 28 shows an arrangement of two or more plates which may be positioned adjacent each other and several sets of circuits thereby obtained; Fig. 29 is a cross sectional view showing a method which may be employed for connecting the circuits which are disposed in different planes; and Figs. 30 and 31 show a panel and templet arranged for the laying out of electrical circuits preparatory to the electrolytic disposition of metal on the panel, through the openings formed in the templet, for the interconnection of apparatus mounted on the panel.

Heretofore in the manufacture of radio apparatus it has been necessary to provide automatic machines for winding inductances and coil units, which units had to be mounted independently on supporting panels and then carefully wired together by skilled mechanics. Wrong connections are readily made in the wiring process rendering the completed apparatus inoperative. The wiring of a modern radio receiver consumes a relatively large amount of time and it is impossible to secure absolute uniformity in the wiring of receivers passing through a large production program. My present invention contemplates the manufacture of radio apparatus upon a large production

scale inexpensively and by methods which ensure uniformity in the production of the receivers.

Reference will be made to the drawings in more detail in order to clearly describe my invention.

Reference character 1 designates a blank of relatively low melting point conductive material, such as a metal which melts at 250° F., over which is coated a film 2 of non-conductive material. For purposes of illustration the film has been represented in cross section only upon the face of the blank, but it will be understood that the film forms a protective coating over the entire blank. The blank is placed in a turning lathe and a spiral groove 3 cut through the film 2 exposing the conductive material of the blank 1. The blank may be placed in the tank containing electrolyte 9 and electro-plated. An anode 8 which may be composed of silver, copper or gold, or other metal having a characteristically low radio frequency resistance is immersed in the bath and connected with a source of energy 6 and control rheostat 7, the circuit being completed to the conductive spiral groove 3 as indicated at 5. Metal will be electrolytically deposited in the spiral groove 3 as indicated at 5, shown more clearly in Fig. 6, forming a spiral inductance. The remaining film of conductive material 2 may now be scraped off or otherwise removed. The blank 1 having the spiral inductance deposited on the surface thereof is then placed in an oven 10 or other suitable heating means where just sufficient temperature is supplied, as indicated at 11, to cause the blank 1 to melt away completely from the electro-plated spiral 5. For this purpose an insulated frame 12 is supported in the oven on transverse members 14 against which the spiral inductance 5 rests when the low melting point blank 1 melts away. Provision is made for saving the melted alloy from the blank 1 so that it may be re-used in the preparation of subsequent blanks, thereby decreasing expense and avoiding waste. There remains in the oven the self-supporting spiral 5. The spirals having the desired inductance values may be mounted in pairs or groups with the thin insulation strips forming the frame 12 as spacing members, the turns being secured to the strips 12 in any desired manner as illustrated at 15 in Figs. 8 and 9 of the drawings. The inductance may also be constructed by forming an impression in a layer of non-conductive material having a relatively low melting point such as compounds of beeswax, or resinous gums, which I have indicated at 19 as supported on surface 18 in Fig. 10. A spiral impression 20 may be made in the wax material in various ways. I have represented a die 16 having a raised spiral cutting

1,568,731

8

face 17 thereon which will cut an impression in the relatively soft material 19. A plastic conductive material can then be rubbed into the spiral groove 20 as represented at 21 in Fig. 12. The plate may then be immersed in the electro-plating bath and low resistance metal electrolytically deposited upon the conductive material 21 as represented at 22 in Fig. 13. The wax blank 19 may then be melted away as heretofore described leaving the self-supporting coil 22.

In Fig. 14 a spiral design 25 is represented as contained upon a decalcomania 24 in the form of a conductive paste which may be transferred to the blank 23, as represented at 26, which blank is electrolytically treated as heretofore described.

The process may be carried out as represented in Fig. 15 where a printing device 29 upon a matrix 28 is employed to print a spiral 31 in conductive paste on the blank 30, after which the blank 30 may be subjected to an electrolytic bath as heretofore described.

It will be understood that the processes hereinbefore described for the manufacture of flat spiral inductances can be used, with slight modifications, in the manufacture of cylindrical inductances and in placing electrical circuits upon a panel.

Where a particular electrical apparatus requires a large quantity of cylindrical coils of a given size, a die may be constructed in accordance with the design illustrated in Fig. 16. The die is formed in two parts indicated at 32 and 33 fitting together as represented in Fig. 17 along horizontal joints 35. Projecting spirals 34 are formed in the inner surface of each of the die sections. For purposes of illustration the pitch of the spiral threads formed by the raised portions 34 has been considerably exaggerated and it will be understood that these may be formed closely together in the order of distances normally employed in engraving processes. The die is used as a mold into which a wax form 36 is poured. When the wax 36 hardens the mold is removed leaving the wax form with a continuous spiral groove 37 into which the conductive material is rubbed and the process continued as aforesaid.

The process may also be directly applied to an insulated cylinder 38 on which a conductive paste 39 may be deposited in spiral formation by means of a rotary distributing wheel 40 which conveys the conductive paste from a fountain 41 which is advanced axially with reference to the cylinder 38 by suitable means such as screw 43 and carriage 42. The screw 43 may be provided with a pitch so fine that the conductive paste is distributed along the tubular support 38 with just sufficient separation between the turns to prevent short circuit after the conclusion of the electrolytic process. The insulated cylin-

der 38 may also be prepared as represented in Figs. 21 and 22 by grinding, milling or cutting a groove 45 in the cylinder by means of a rotary cutter 44 driven axially with respect to the cylinder 38 simultaneously with the rotation thereof. The grinding depth is extremely slight but sufficient to permit the conductive paste to be rubbed into the cylinder and then the cylinder electro-plated forming the inductance.

One of the applications of my invention is clearly shown in Figs. 23 and 24 where the completed inductances 46 and 47 on the coil support 38 form primary and secondary windings of a transformer. Inductances of this kind are particularly desirable in electron tube circuits where the tube 48 has its input and output circuits connected with inductances formed in accordance with this invention. I have represented diagrammatically a transformer 49 having a primary winding 50 and secondary winding 51 which connects to the input circuit of the electron tube 48. A transformer 52 is provided having primary winding 53 connected in the plate circuit of the tube 48 with a secondary winding 54 inductively associated therewith. The fact that the radio frequency resistance of these windings is extremely slight by reason of the high conductivity of the electrolytically deposited metal enables me to obtain a high degree of efficiency in the electron tube circuits.

In order to facilitate the construction of electrical apparatus electrolytic deposits may be made directly upon the insulated panels of the apparatus. Figures 25 and 26 represent a conductor 57 which has been electro-plated upon vertical panel 55 and horizontal panel 56. Apparatus may be mounted directly upon the panels 55 and 56 having their terminals arranged to contact with the conductor 57 in the nature of a bus bar. Where conductors are mounted upon panels the high tension leads may be separated from low tension leads by an intervening panel as has been represented at 58 in Fig. 27, separating the conductors 59 and 60. The conductors 59 and 60 are electrolytically deposited on opposite sides of the panel 58. Two or more panels may be positioned adjacent each other with three sets of circuits constructed thereby as represented in Fig. 28 where panels 58 and 61 have conductors 59, 60 and 62 electrolytically deposited thereon. Figure 29 shows a method which may be employed for interconnecting the circuits in different planes. The electro-plated metal forming conductor 62 extends through an aperture in panel 61 as represented at 63 terminating in an extended connecting surface 64 which in turn contacts with conductor 60 on panel 58.

Figure 30 represents a panel 65 on which has been electrolytically deposited the con-

1,563,731

nections 69 and 70. These are formed by employing the templet illustrated in Figure 31 consisting of a plate 66, apertured at 67 and 68. The templet 66 is placed over the panel 65 and conductive paste rubbed upon the panel through the apertures. The panel 65 may be electrolytically treated for the disposition of metal thereon. In this way the separate pieces of apparatus may be mounted on the panel at opposite ends of the electro-plated conductors for interconnecting the apparatus, making it unnecessary to wire the instruments together inasmuch as the terminals of the instruments contact with the conductors formed on the panel.

By employing the principles herein set forth I am enabled to manufacture inductances and electrical circuits for electrical apparatus which greatly facilitates the quantity production of complicated electrical instruments. The process of simultaneously electro-plating circuit connections upon an instrument panel makes it a simple matter to train unskilled labor in the assembly of instruments where it is only necessary to move the instruments into position with the terminals thereof in contact with the electro-plated conductors on the panel and then securely fasten the instruments to the panel by suitable mechanical means.

It will be understood that while I have described my invention in certain limited embodiments I desire to place no limitations upon the invention other than those imposed by the scope of the appended claims.

What I claim and desire to secure by Letters Patent of the United States is as follows:

1. A method of manufacturing electrical apparatus which consists in initially preparing an electrically conductive path upon a supporting surface, subjecting said path to an electroplating bath in which said path comprises the cathode, electrolytically depositing a metal having a low radio frequency resistance upon said path, and removing the conductor thus formed from said bath.

2. A method of manufacturing electrical apparatus which consists in initially preparing an electrically conductive path upon a supporting surface, subjecting said path to an electroplating bath in which said path comprises the cathode, electrolytically depositing a metal having a low radio frequency resistance upon said path, removing the conductor thus formed from said bath, dissolving away said supporting surface and mounting the conductor thus formed upon an insulated frame.

3. A method of manufacturing electrical apparatus which consists in initially preparing an electrically conductive path upon a supporting surface, subjecting said path to an electroplating bath in which said path

comprises the cathode, electrolytically depositing a metal having a low radio frequency resistance upon said path, removing the conductor thus formed from said bath, separating said conductor from said supporting surface, and insulatingly supporting said conductor for connection in an electrical circuit.

4. A spiral electrical conductor comprising in combination a spiral base of conductive material and an electrolytically deposited spiral coating on said base of low radio frequency resistance.

5. An electrical conductor consisting of an extended circuitous path in the form of a wire having its greatest dimension in a longitudinal direction, and a coating of electrolytically deposited metal over said path, said coating having a low resistivity to radio frequency currents.

6. The method of manufacturing electrical apparatus which consists in painting a layer of conductive material upon a supporting surface in the form of a circuitous path resembling a wire electroplating a metal having low radio frequency resistance upon said material, and providing a permanent mounting for the electroplated conductor thus formed.

7. The method of manufacturing electrical apparatus which consists in printing a conductive layer of material upon a supporting surface in the form of an electrical circuit, and electroplating a metal having low radio frequency resistance upon the printed layer for forming an electrical circuit of low radio frequency resistivity.

8. A spiral electrical inductance comprising a layer of conductive material, and an electrolytically deposited film of metal thereover having low resistance to radio frequency currents.

9. A method of constructing electrical apparatus which consists in marking out circuitous paths upon a supporting surface, placing a conductive material over the paths and electroplating the conductive material with a metal having low resistance to radio frequency currents.

10. Apparatus for constructing electrical circuits arranged for the mounting of instruments upon panels comprising in combination with panel surfaces, templets corresponding in shape to said surfaces having circuitous apertures therein arranged according to the mounting of instruments upon said panel surfaces, whereby coatings of conductive material may be applied to said panel surfaces through said apertures with said templets positioned directly adjacent said panel surfaces, means for electrolytically depositing a metallic film of low radio frequency resistance upon said coatings, whereby circuits may be formed directly upon said panel surfaces for interconnecting

1,568,731

5

terminals of electrical instruments secured to said surfaces.

11. The method of manufacturing electrical inductances which consists in forming
5 a circuitous impression in a readily dissolvable material, rubbing a conductive paste into the impression thus formed, sub-

jecting the conductive paste circuitous path to an electrolytic process forming a deposit of metal upon said path, removing the metal
10 thus deposited and mounting the inductance thus formed upon an insulated support.

CHARLES DUCAS.

Anexo C : Registro de Patente US241960

May 25, 1948.

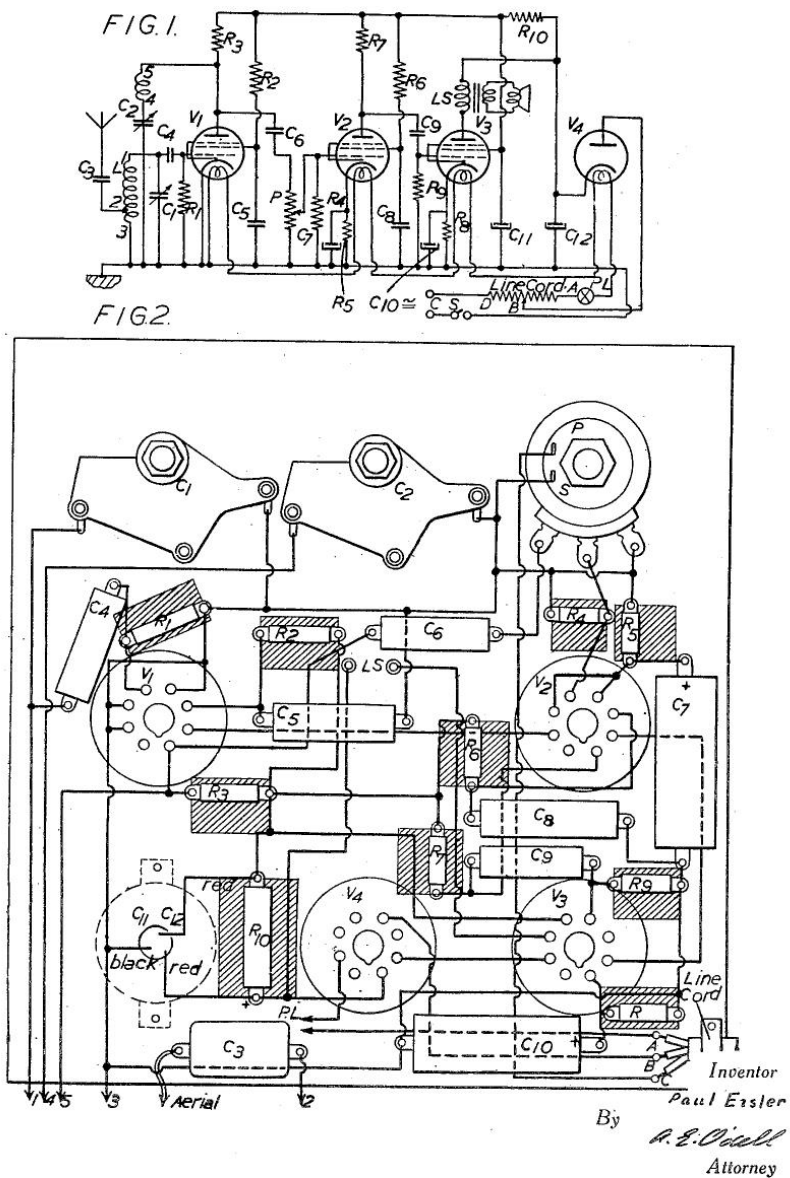
P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 1



May 25, 1948.

P. EISLER

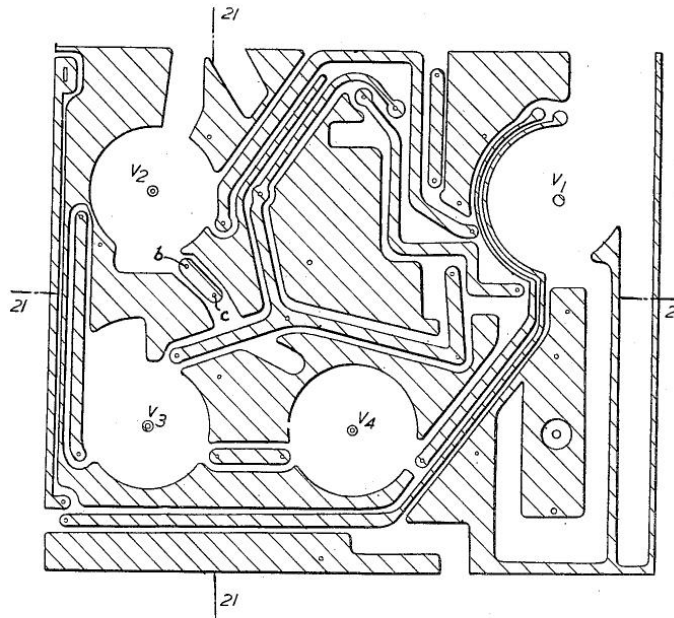
2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 2

FIG. 3.



Inventor
Paul Eisler
By *A. H. Osell*
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

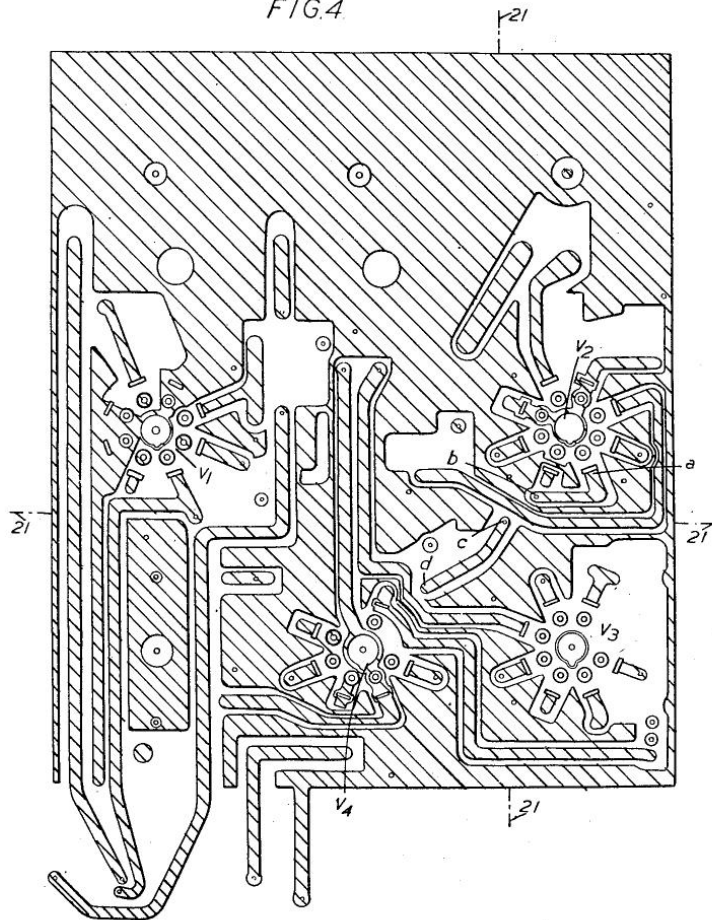
2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 3

FIG. 4

Inventor
Paul Eisler

By

G. F. O'Neill
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 4

FIG. 5.

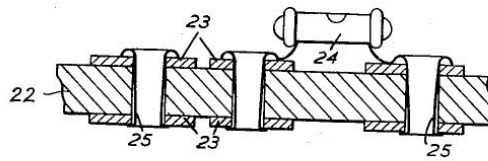


FIG. 6.

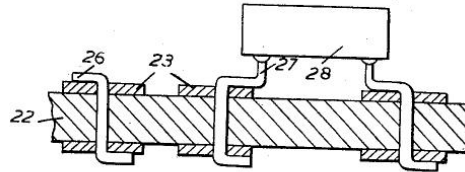
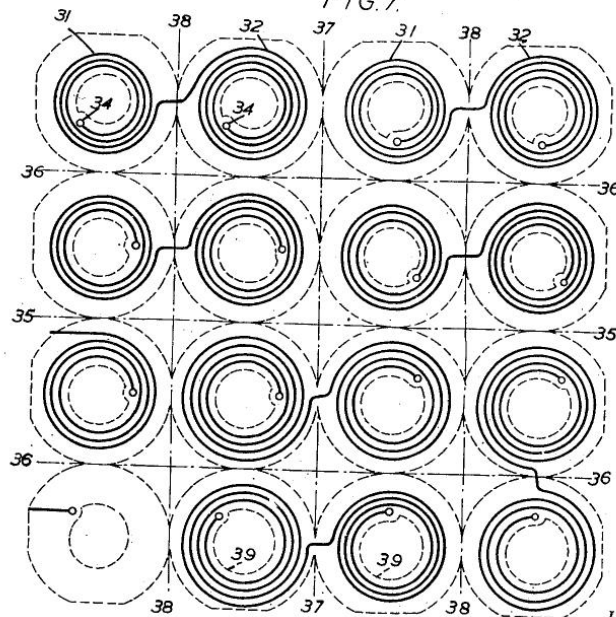


FIG. 7.



Inventor
Paul Eisler
By *A. E. Chell*
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 5

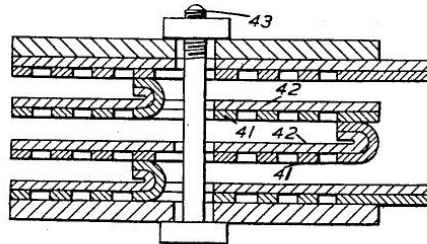


FIG. 8.

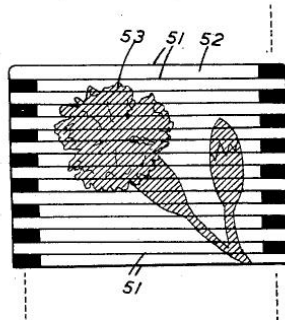


FIG. 9.

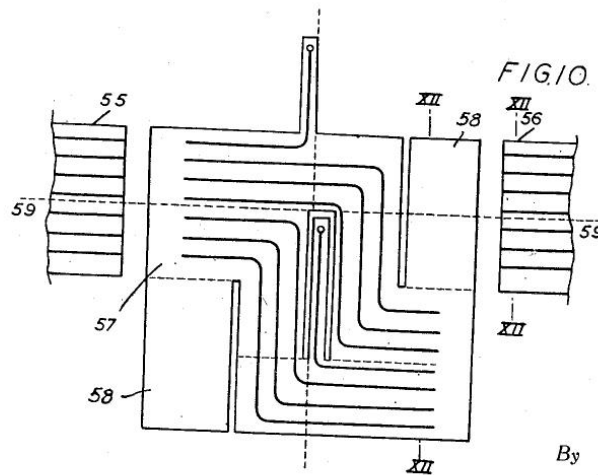


FIG. 10.

Inventor
Paul Eisler

By *G. F. O'Connell*
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 6

FIG. 11.

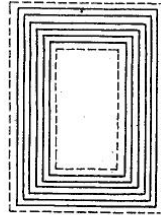


FIG. 12.

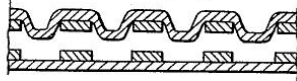


FIG. 13.

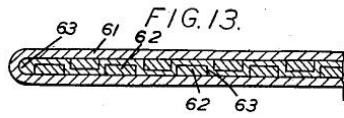


FIG. 14.

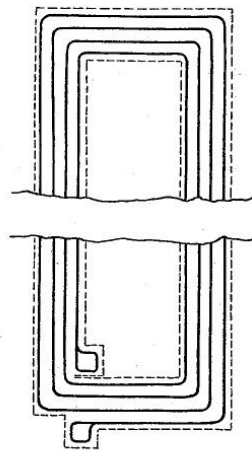


FIG. 15.

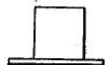
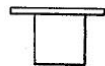


FIG. 16.

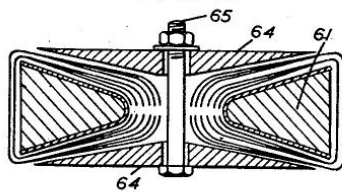
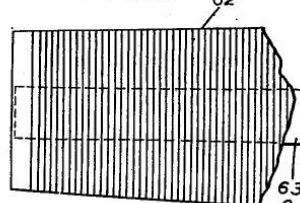


FIG. 17.



Inventor
Paul Eisler
By *G. E. O'Neill*
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 7

FIG. 18.

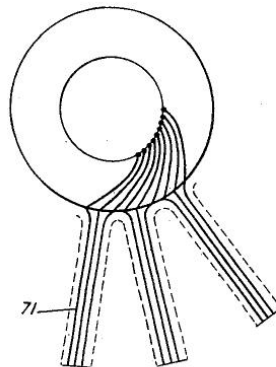


FIG. 19.

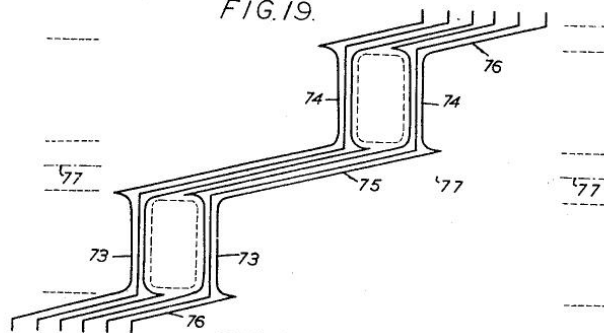
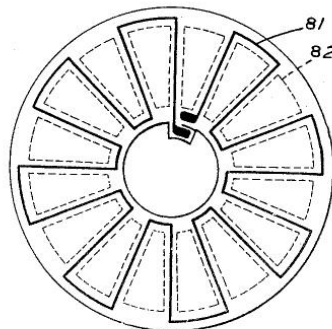


FIG. 20.



Inventor
Paul Eisler
By *D. F. O'Connell*
Attorney

May 25, 1948.

P. EISLER

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Filed Feb. 3, 1944

8 Sheets-Sheet 8

FIG. 21.

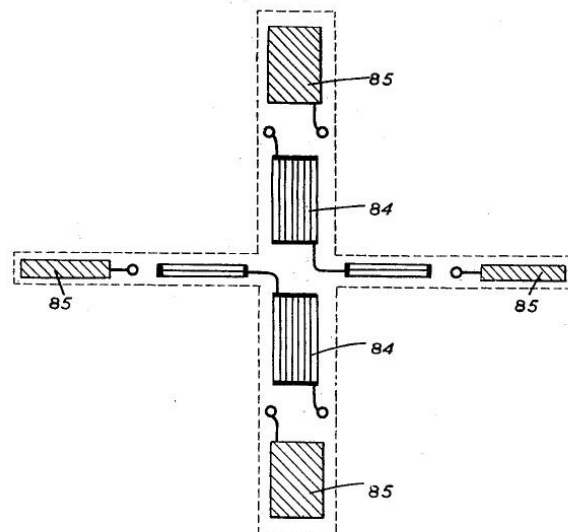
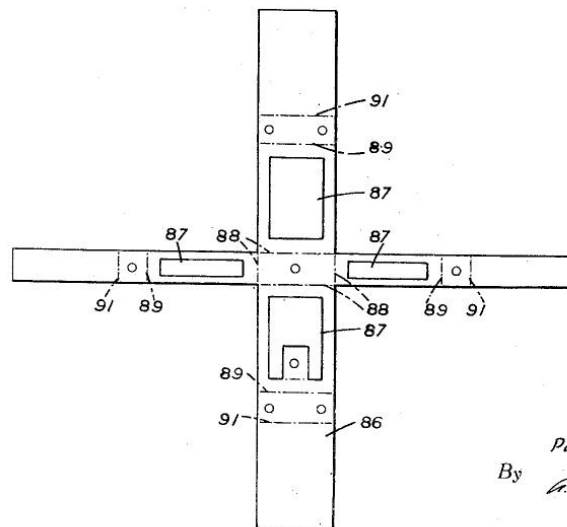


FIG. 22.



Inventor
Paul Eisler
By *G. E. Osell*
Attorney

Patented May 25, 1948

2,441,960

UNITED STATES PATENT OFFICE

2,441,960

MANUFACTURE OF ELECTRIC CIRCUIT COMPONENTS

Paul Eisler, London, England

Application February 3, 1944, Serial No. 520,991
In Great Britain February 2, 1943

7 Claims. (Cl. 41-43)

1

This invention relates to the manufacture of electrical apparatus, and particularly to the production of electric and magnetic circuits and parts thereof.

A principal purpose of the invention is to facilitate and cheapen quantity production of electric circuit components, such as the resistances, inductances, transformers, tubes, and interconnecting networks or circuit connections of radio apparatus, the cores and windings of iron-cored transformers and dynamo electric machines, the connecting networks of switchboards, the conductors of heating appliances, and generally of any electrical circuit component which it may be convenient to manufacture by the methods herein disclosed.

A further purpose of the invention is to facilitate the production of electrical circuit components, even though they be not needed in great quantities, in which a high degree of precision is required in the dimensioning or relative location of conductors such as cannot readily be obtained by known means.

Yet another object of the invention is the production of surface heating elements in which the conductor also constitutes or carries an ornamentation.

Other objects of the invention will appear from the description following.

Most electrical circuit components essentially comprise metal parts, conducting electric current or magnetic flux, supported upon an insulating base, or with interposed insulation upon a metal base.

The invention consists in the production of the metal electric and magnetic conductors in position upon their insulating support by a process based on the printing of a representation of the conductive metal.

The common way of building up an electrical circuit or circuit element is first to draw metal into wire, that is to say make a linear conductor, and afterwards to shape this conductor into coils and networks. By the application of the methods of the printing art the invention brings the metal conductor of the circuit component into existence in its final form, or in a development of that form upon a plane or cylindrical surface.

A typical instance of the invention comprises the steps of preparing by any of the well-known methods of the printing art, a printing plate for printing a representation of the metal electric or magnetic conductors of the circuit component or a part of them; making an imprint

2

by the aid of the printing plate upon a surface thereby differentiating on that surface the areas which are required to be conductive from the areas which are required to be non-conductive; and from that imprint producing the conductor by subjecting the printed surface to treatment which operates differently on the areas of the surface differentiated by the printing, thereby changing the differentiation into a differentiation of conductive and non-conductive areas.

The development of the conductor from the imprint is in most cases effected by methods adapted from the printing art or analogous to the methods of the printing art, such as etching, bronzing, electro-deposition and the like.

Where on account of the process of development adopted, or on account of the nature of the fabric which is to form the permanent base of the conductor, it is inconvenient to make the imprint on the permanent base, it may be made on a temporary base, which must be removable, and the development process be followed by a transfer process akin to those known in the printing art.

The invention is explained hereinafter by a description of the production of various circuit components by its aid. This description refers to the accompanying drawings in which—

Figure 1 is a diagram of connections of a radio receiver.

Figure 2 is a diagram showing the approximate lay-out of the components of this receiver.

Figures 3 and 4 show two part schemes of connections prepared for the purpose of applying the invention to the manufacture of the circuit connections of this receiver.

Figure 5 is a cross-section illustrating the making of connections between one part scheme of connections and another and between the circuit leads and a component by means of an eyelet.

Figure 6 is a cross-section illustrating the making of connections between one part scheme of connections and another and between the circuit leads and a component by means of stitching wire.

Figure 7 is a pattern of flat spirals illustrating the making of inductance coils according to the invention by printing with the additional step of folding.

Figure 8 illustrates another way of joining parts of a component.

Figure 9 illustrates a printed pattern of parallel conductors having many useful applications.

2,441,960

3

Figure 10 is a pattern of lines on a principal sheet and a connector label illustrating the making of a helical inductance coil according to the invention by printing with the additional steps of winding the principal sheet and attaching a connector label.

Figure 11 illustrates the making of a transformer core according to the invention.

Figure 12 is a section of a helical inductance and its label showing how the label is positioned by embossing.

Figure 13 illustrates a modification of the pattern of parallel lines.

Figures 14 and 15 illustrate the making of an inductance from a pattern of rectangles with the additional steps of twisting and winding on a double core.

Figure 16 is a cross-section of a transformer built by the method of the invention and

Figure 17 illustrates the printing of its core.

Figures 18, 19 and 20 illustrate the application of the invention to the printing of the conductors of dynamo electric machines.

Figures 21 and 22 illustrate the application of the invention to the printing of the conductors of a thermionic tube or valve.

The diagram of connections or hook-up shown in Figure 1 forms no part of the invention, is substantially known, and therefore will not be described further than is necessary to assist the understanding of the later figures. It is seen to consist of valves V_1 , V_2 etc., resistances P , R_1 , R_2 , etc.; inductances such as L' , capacitances C_1 , C_2 , etc., an output transformer LS , and a network of conductors by which these other components are connected together. It is the production of the connecting network that will first be studied.

The radio engineer charged with the manufacture of a radio receiver according to Figure 1, must first plan the lay out of the several components, including the connecting network, and produce a lay-out and wiring plan such as is shown in Figure 2. The design of this lay-out is again a matter for the radio engineer with which the present invention is not primarily concerned; though the radio engineer familiar with the present invention will naturally in planning his lay-out have regard to the fact that such and such components of it are to be made by the methods of the present invention. The correspondence between Figures 1 and 2 is sufficiently apparent from the references upon the several parts already mentioned.

It will be noted that the circuit connections shown in Figure 2 involve several instances of crossing conductors; for instance the connection from L to S crosses the connection from R_3 to V_3 . In wiring with pre-formed wires such connections are kept separate by suitable disposition in three dimensions; Figure 2 is not intended to represent such disposition; indeed some conductors are displaced to one side merely for the sake of clearness.

For the application of the invention to the manufacture of such a network it is manifestly convenient for the connections to be disposed in one plane; but if they cannot be so disposed without crossings it will be convenient to dispose them in two or three or more planes; so making the network two or more circuit components which are printed separately or side by side and afterwards assembled in superposition or other desired relation and connected together where necessary.

In the present instance the whole of the circuit

4

connections can conveniently be set out in two planes, and they are shown so set out in Figures 3 and 4. The general resemblance of Figures 3 and 4 to the lay-out plan of Figure 2 can be seen at a glance, and the location of various components other than the network itself can readily be recognized. For example, V_1 , V_2 , V_3 and V_4 in Figures 3 and 4 mark the location in the network of the tubes or valves indicated by those references in Figures 1 and 2. It will be seen that if Figure 4 be directly superposed on Figure 2 the valves, or rather valve holders, indicated in the latter figure come in the places to which valve connections converge in Figure 4. Figure 3 will similarly register with Figure 2 and with Figure 4 if turned face downward. If the correspondence of these figures be studied in detail it will be seen that some conductors shown in Figure 2 appear in part in Figure 3 and in part in Figure 4; for example the connection between V_2 , C_2 and R_1 in Figure 2 is represented by the connection a , b from the position of V_2 in Figure 4, the connection b , c in Figure 3, and the connection c , d in Figure 4. Provision has to be made for joining these connections into one conductor in the finished articles; for this reason the parts of it are drawn so that their ends overlap when Figures 3 and 4 are superposed back to back; thus the points b and c of Figure 4 overlap and register with the points b and c of Figure 3.

To make possible the employment of universal tools, as hereinafter described, in the manufacture of various schemes of connections, of which Figures 1 and 2 are only one example, it is convenient to limit the possible positions of junction points such as b and c . For this reason it is of advantage to prepare the drawings of the part schemes, Figures 3 and 4, by the aid of squared tracing paper and to arrange that every junction point falls upon an intersection of the lines of the grid. It would only confuse Figures 3 and 4 to superpose such a grid upon them; two lines of the grid are indicated by the chain lines 21 passing through the point c in both Figures 3 and 4.

From the drawings, Figures 3 and 4, printing plates are prepared by any of the usual methods of the printing art. These printing plates may, for example, be engravings on metal, or lithographic stones, or they may be prepared by any usual photomechanical process, or they may be photographic plates. The printing plates so produced may be in relief, in intaglio, or planographic, according to the method of production.

From the two printing plates so produced any desired number of identical prints of the circuit component may be made.

In one form of the invention, convenient for the instance under consideration, the prints are made upon a composite material consisting of metal foil upon an insulating backing. The thickness and nature of the foil and of the backing depend upon the particular process chosen for converting the imprint of the circuit component into a circuit component. Metallized or metal-coated paper is one material; it is preferable to impregnate the paper with an acid-resisting varnish made of a suitable plastic. Or metal foil may be coated with varnish or with a layer of plastic of the desired thickness. Or a metal coating may be applied to a pre-formed sheet of insulating material, such as a plastic. Zinc, aluminium, and copper may be named among suitable metals.

For the purpose of the particular example of the invention now under consideration the print

2,441,980

5

is made with an acid-resistant ink upon the metal side of such composite material. Except where the pattern to be printed is very fine it is an advantage to impart a grain to the metal surface by use of an etching bath, or by abrasion or otherwise, prior to printing. The print may be made directly from the printing plate or by the off-set method. To ensure a print free from pinholes, the print may be overprinted, or otherwise reinforced. The print is naturally identical with Figures 3 and 4, and those figures equally represent the drawing from which the printing plate was prepared, and the print made from the plate upon the metal surface of a composite sheet.

The part circuit components are next perforated at all the points at which junction has to be made between the conductors of the sheet corresponding with Figure 3 and those on the sheet corresponding with Figure 4, that is to say at all points such as c. The restricted location of such junction points as above described enables all the perforations, whether for these particular components or for any other circuit components of like area, to be made by a universal punching tool in which pin punches can be inserted at any of a large number of positions corresponding with the intersections of the grid employed in preparing Figures 3 and 4. If there are large areas of metal to be removed they may be punched out prior to etching, for instance simultaneously with the perforation, so as to even up the extent of etching necessary all over the print.

The sheet is then etched in the well-known manner of the printing art, in a bath suited to the particular metal employed, but with this difference from the usual etching of a printing process that the metal not protected by the resistant ink is wholly etched away. To permit of this complete etching away without undue undercutting of the protected parts it may be convenient, as is commonly done in preparing printing plates, to interrupt the etching and re-coat the surface, for instance with a fatty ground, which can be made to protect the sides of the etched lines as well as the outer surface. When etching is complete the ink may be washed off.

It will be clear that Figures 3 and 4 equally represent the etched print, that is to say they may be regarded as depicting a sheet of insulating material coated with metal over the shaded parts only.

The two part circuit components are now superposed back to back and metallic junctions are made between them at all the perforations. Such connections may be made in the manner now common in the radio art by means of eyelets. Figure 5, for example, shows a cross-section of a small portion of an insulating sheet 22, having conductors 23 on each side of it produced by printing methods such as that above described or those described hereinafter, and the conductors on one side are joined to conductors on the other side, and to the terminal tags of other circuit components such as the resistance 24, by eyelets or hollow rivets 25. Or such connections may be made by wire stitching, using wire staples, or wires bent twice at right angles into S form as seen at 26 in Figure 6, and the terminal wires 27 of a component such as the fixed capacitance 28 of Figure 6 may be used for such stitching. The eyelets or wires are preferably tinned and solder-painted, so that the joints may subsequently be perfected by soldering. This op-

6

eration also may be performed by a heated universal tool in which soldering bits are set at the position of the junctions of the circuit component in course of manufacture. If desired the metal may be protected and insulated by a coating of varnish except over points required to be accessible for purposes of testing or the making of further connections.

The circuit may be tested by a universal testing appliance which permits of contacts being set in desired positions on a surface.

If desired a single printing plate may reproduce the two representations, Figures 3 and 4, side by side, on the same composite sheet. In that case the conductors developed from the print are superposed by folding the sheet back upon itself with the conductors outward.

It will be seen that the essence of the particular method of producing circuit components just described is the preparation of a printing plate, the printing from it of a representation of the conductors of the circuit component, thereby differentiating on the printed surface the areas which are required to be conductive from those which are required to be non-conductive, and the subjecting of the surface to an after treatment which operates differently on the differentiated parts and converts the differentiation into a differentiation of conductive and non-conductive areas. The imprint made is a positive imprint, that is to say the inked part represents the conductors of the component; and the imprint is made on metal; and the component is completed by removal of metal from the unprinted areas. It will be seen below that it is not essential that the imprint be positive, nor that the imprint be made on metal, nor that the component be developed by removal of metal.

In the particular method just described removal of metal was effected by chemical etching; it could equally well be removed by electrolysis, the print being made on metal foil upon a conductive backing, say of another metal, and the printed surface being made the anode in a bath of electrolyte which attacks the foil. This method is appropriate when it is to be followed by transfer of the conductor to a permanent insulating base, after which the conductive backing is dissolved or otherwise removed. In the case of some metal foils, for example aluminium, it may be convenient, instead of removing them wholly, to convert them into non-conductors, a process well-known as "anodising," and which also consists essentially in making the metal an anode in a suitable electrolytic bath.

Instead of producing the circuit component from the imprint by removal of metal it may be produced by adding metal. For example, the printing plate may be prepared to print a negative of the circuit component, that is to say to cover with ink those parts of the surface which are to be non-conductive. A negative imprint can be made in insulating ink upon metal foil, say zinc foil, on a suitable backing, and additional metal of a different kind, say copper, can be added to the parts not inked by electro-deposition, the printed foil being made the cathode in an electrolytic bath. Or the printed foil may be subjected to a galvanising process by coating it with flux and passing it through a bath of molten metal, which must naturally be a metal of low melting point such as Rose metal or a soldering alloy, melting at a temperature which will not harm the insulating backing. These methods, also, appropriately precede trans-

2,441,960

7

fer, for the metal foil must subsequently be removed, at least over those areas covered by the ink and therefore not covered by added metal, and this may readily be done after transfer in an acid bath which attacks the metal of the foil but not the added metal.

Other modifications of the method of producing a circuit component by adding metal to the printed surface do not require the print to be made on metal. A positive imprint of the circuit component may be made in sticky ink upon an insulating ground, and the imprint may be metallised in various ways of which the following are examples. Metal leaf may be applied to the printed ground, and so much of it as does not adhere may be removed by dabbing. Or metal powder may be dusted on in the manner usual in the "bronzing" process of the printing art; it will adhere to the imprint and elsewhere may be removed; the adherent powder is not however conductively continuous and must be made so by subsequent consolidation. One method of consolidating a discontinuous powder imprint is to spray metal on the printed and bronzed ground by tools familiar in the art of painting for protection; in the typical case the metal is melted and broken into a fine spray by air under pressure which propels it through a spraying nozzle. The metal spray is molten or at least soft when it impinges on the metal dust of the print, and joins its particles metallically. Alternatively the metal dusted on may include a component of low melting point, such as Rose metal, or a solder, and a flux, as well as a component of less readily fusible metal. These may be mixed as powders or be applied in succession, provided they are intimately mixed in the print. By subsequent heating the low melting point metal is caused to unite the less readily fusible particles. It is not satisfactory to use a low melting point metal alone as it tends to fuse into discrete globules.

Another method of consolidation is to subject the bronzed print to a hot galvanising bath. A third method is to heat the bronzed imprint in the vapour of a metal compound which readily dissolves; for example iron may be thus deposited on the imprint by heating it in the vapour of iron penta-carbonyl; the heating may be effected by a high frequency magnetic field.

If the process of consolidation to be employed involves heating to a temperature at which the ink imprint might soften, something must be done to fix the bronzed imprint in position before consolidation. One means of fixing is to include in the composition of the ink a thermo-setting plastic, which is polymerised and set by heating before the process of consolidation; heating may be effected by a high frequency electro-static field, or by infra-red radiation.

The invention also includes the converse of each of these methods, which consists in preparing a printing plate to print a negative of the circuit component, and making the imprint in ink to which metal will not adhere upon an insulating surface to which it will adhere, and thereafter applying leaf metal or dusting on metal powder and consolidating as above described.

The necessary intimate association of the two metals to be dusted on is better ensured by coating the metal powder of high melting point with a metal of lower melting point, which may be effected in an electrolytic bath, or, particularly in the case of alloys such as Rose metal, by

8

stirring the powder of high melting point metal into suspension in the molten low melting point alloy, and grinding to powder the solidified product. The flux may also be a coating on one of the mixed powders or on the metal-coated metal particles made as just described. If the particles are not also coated with flux there may be included in the ink of which the imprint is made ingredients such as rosin oils to serve as flux.

If desired the less readily fusible constituent metal required to produce a consolidated imprint, or both metals, may form the pigment of the printing ink. In the former case the metal particles in the ink may be coated with flux and the second metal ingredient may be added in any of the ways above described, by hot soldering, by spraying, or by deposition from vapour. In the latter case the pigment may consist of particles of less readily fusible metal coated with fusible metal and if desired with flux also, and consolidation will be effected by simple heating of the print, say by a high frequency magnetic field.

The printing plate may be a photographic plate or film, in which case the imprint is made by contact printing or projection upon a sensitised surface. For example a metal plate may be gelatine coated as in zincography, and printed from a negative of the circuit component. The coating is hardened where it is exposed to light and elsewhere may be washed away, and the metal so uncovered can be etched away, preferably in stages. Or the hardened gelatine may be inked, and dusted with metal which is consolidated as above described. The imprint may be transferred to a permanent base prior to consolidation, and this necessary if the gelatine could not withstand the consolidation process chosen.

Any of the processes above described may include or be followed by the step of transferring the imprint from a temporary to a permanent base, provided due regard be paid to the requirements of that step in the selection of materials.

These various methods by which an imprint of a circuit component is converted into a circuit component are to be regarded as illustrative examples only; to those acquainted with the printing art, from which most of the individual steps employed are taken, with some modification, it will be obvious that many other modified operations or modified sequences of operations may be adopted according to the nature of the circuit component that is to be made. A few of these are mentioned below in connection with the making of particular circuit components.

Reverting to the radio receiver of Figures 1 and 2, there has so far been described the production of only one of its circuit components, namely the circuit connections, which can be produced by any of the methods above described. To what extent it is convenient to employ the invention in the making of other components of the radio receiver is a question to be answered on economic grounds. The illustrative examples next described show that other components may readily be made by similar methods, and those examples will assist in indicating how the design of components may usefully be modified with a view to their being manufactured by a printing process.

The inductance L' of the antenna circuit may take the well-known if less usual form of a flat

2,441,960

9

spiral, such as one of the spirals 31 of Figure 7. On account of exigencies of drawing the spiral is shown as consisting of a few well spaced turns; the printing methods above described, particularly, for example, the method of printing and etching first above described, permits of the making of a spiral of hundreds of turns spaced apart no more than a few thousandths of an inch. Hence a single spiral will commonly suffice for the inductance L' . The spiral is drawn out carefully, a printing plate is made from the drawing, an imprint is made on metal foil, on an insulating backing, and the metal not protected is etched away; or another of the procedures above described is followed.

If greater inductance is required than can conveniently be obtained in a single spiral—for example if a winding of a great number of turns is required with or without an iron core—the spiral pattern may be repeated as often as desired. A convenient pattern is that shown in Figure 7, which consists of pairs of spirals 31, 32, joined at their outer ends. The free ends of the spirals form junction points 34, and it will be noted that some of these, but not all, have the same angular position as each other; for example no two of the spirals in the second row have their free ends in the same position, but each of them has its free end in the same position as has the spiral beneath it in the third row. This pattern may be printed on metal on an impregnated paper backing which can readily be folded. After the print has been metallized in one of the ways above described and its surface coated (or left coated) with insulation, except at the junction points, the sheet is folded about the line 35—35. The junction points become superposed in register and may be connected by spot-welding by a universal welding tool analogous to the soldering tool above mentioned. Or they may be joined as explained with reference to Figures 5 and 6. After the junctions have been made the print is further folded about the lines 36—36, the line 37, 37 and the lines 38—38. By a small modification in the pattern, junction points may be made to abut upon one another on folding, as shown in Figure 8, which is a cross section of several spirals 41 on insulating sheets 42, the inner or outer end of each spiral being folded to abut on the inner or outer end of its neighbour; the spirals are held together by the bolt 43 which exerts sufficient pressure to make a metallic connection at the points of abutment. If an iron core is to be used the centres of the spirals of Figure 7 are punched out along the dotted lines 39 before folding, and the insulation between spirals may also be punched out as indicated by the dotted circles surrounding the spirals.

Figure 9 may be referred to here as illustrating a pattern of parallel linear conductors 51 upon an insulating ground 52, a pattern which may readily be produced by the method of the invention and which is the foundation of several varieties of circuit components. It will be seen that each end of the pattern all the lines are joined so that electrically they are in parallel. In addition alternate pairs of lines 51 are joined further from the edge of the pattern so that if the extreme edges are sheared off the lines will be electrically in series. Again it is to be noted that exigencies of drawing make Figure 9 highly diagrammatic; in fact the pattern can be of enormously greater length, and be composed of a very great number of closely spaced

10

lines. Figure 9 will be further described below. It is mentioned here as completing the illustration of the circuit component shown in Figure 10. In this figure 55 and 56 show the two ends of a long strip of flexible insulation bearing a pattern of parallel metallic lines, such as is illustrated in Figure 9, but in this case without any end connections between the lines. This pattern is here used as the basis for making a helical winding to serve as an inductance, or as the winding of a transformer or for like purposes. After printing and development of the metallic lines the strip is wound upon a former or upon a core such as that shown in Figure 11. It would ordinarily be a very tedious operation to wind a wire winding upon a closed core such as Figure 11 depicts, perhaps involving threading the bobbin through the core some thousands of times. But when it is remembered that the strip of Figures 9 and 10 may have hundreds of conductors side by side, it will be understood that thousands of turns of wire may be wound about a core by threading such a strip through it only a few times. However, the winding of the strip on the core in this manner only leaves the core winding with, say, a thousand separate conductors each encircling the core a few times. It remains to join these conductors in series, which involves, say, joining the end of the lowermost conductor in the end 55 of the strip to the uppermost in the end 56 and so on. This is conveniently done by the aid of a label 57 of transparent insulating material bearing a pattern of parallel conductors of similar spacing to the conductors of the strip 55, 56 insulated at their middle parts but bare and solder-painted at their ends. In order that this label may be accurately applied to the ends 55, 56, as is necessary considering the close spacing of the conductors, the label is not only printed but embossed, preferably in the printing operation, so that the ends of its conductors lie in grooves. Figure 12 shows a section of the label 57 and of the end 56 upon the lines XII—XII of Figure 10, and shows the end of the label superposed upon the end of the strip. It will be seen that the embossed parts of the label will fit between the conductors of the strip and thereby cause the conductors of strip and label to be accurately superposed. A soldered joint is made by heat and pressure. The flaps 58 of the label may be coated with adhesive and folded around and made adherent to the back of the ends 55, 56.

If it is desired to have parallel conductors upon a strip such as that of Figure 9, or the strip 55, 56 of Figure 10, more closely spaced than lines can reliably be printed, the spacing of the lines may be increased to a little more than the width of the lines, and after printing and metallizing the lines may be varnished with plastic. The strip can then be folded about a mid line (59, 59, Figure 10), running lengthwise of it, so that the conductors of one half of the strip come to lie between those of the other half; this is seen in Figure 13 which is a cross-section of such a folded strip, 61 being the insulating backing, 62 the conductors, and 63 their insulating coating.

Where the invention is applied to the making of the magneto-conductive part of an electrical circuit component, such as a transformer core the metal employed for metallization is naturally iron. The invention is especially of value in the making of cores for radio frequency transformers for in these it is worth while for the avoid-

2,441,960

11

ance of eddy current losses to divide the iron of the core, not merely into laminations, but into separate and fine wires. The printing of a pattern of parallel iron conductors as shown in Figure 11 upon a ground of the thinnest insulation that will afford the requisite strength and has the desired electrical properties, and the stamping out of the pattern from the sheet and of the centre from the pattern as indicated by the dotted lines, need no further explanation; nor does the building up of the core by assembling a great number of such patterns in a pile. Obviously any usual form of laminated core may be built of printed line patterns in this way.

Figures 7, 10 and 12 illustrate different ways in which the electro-conductive or magneto-conductive part of a circuit component originally printed on a flat sheet, or maybe on a cylinder, may be deformed into a three dimensional structure; Figures 14 and 15, showing an alternative way of building a cylindrical coil, for instance a relay winding, illustrate a third kind of deformation. In this case the printed pattern consists of a great number of elongated approximately rectangular turns one within the other; the middle part of the figure is broken away to indicate that its length may be large compared with its width. When this is metalised the conductor is continuous from end to end. It is formed into an inductive winding by stamping out its middle as indicated by the dotted line and winding it on the two-part core or former shown in Figure 15, preferably so that its ends become superposed, and then turning one part of the core or former end for end, thereby twisting the ends of the rectangular pattern, and bringing its long sides into juxtaposition with the current travelling around the core in the same direction in all of them.

As already mentioned, where it is intended to use the method of the invention for the production of a circuit component regard may be had to that fact in the electrical design of the component. Figure 16 is a cross-section of a transformer designed to be built by the method of this invention. Its windings 61 may be built of superposed spirals, such as are illustrated in Figure 7, all of the same external diameter but decreasing in radial depth from the middle outwards. Primary and secondary windings may be printed together, closely intermingled to eliminate magnetic leakage. Together the superposed imprints form an annulus of roughly triangular cross-section. Alternatively the winding may be wound of wire upon a former of V-section. The core is built from the printed strip 62 shown in Figure 17; it is a slightly tapering strip (the taper is exaggerated in the figure) on which are formed a large number of parallel closely spaced iron lines. This strip is of very thin insulating material. The middle of the strip is reinforced by a narrower tapered strip 63. The composite strip is wound around the winding 61 and as it is wound it is folded about the edges of the reinforcing strip, so that the ends of the iron lines come together in the middle of the core as seen in Figure 16. Its insulation breaks and crumples permitting the iron lines to overlap radially. The ends of the lines are brought into good magnetic contact and so held by the end cheeks 64 and the bolt 65.

The invention is by no means confined to the building of circuit components for radio receivers. The pattern of parallel lines described with reference to Figure 9 is a typical pattern

12

for the production of electrical resistances, for example for all kinds of heaters. The pattern of parallel resistant conductors may be wanted upon some article or fabric to be heated on which it is not convenient to print. In that case the resistant pattern is produced by printing upon a temporary ground, for instance printing upon foil of resistant metal upon a backing of waxy paper, and is transferred to its permanent backing by a subsequent operation. The method of printing and etching and subsequent transfer, for example, might well be used to produce a resistant conductor upon cement or plaster of Paris.

A resistant conductor such as indicated in Figure 9 may be formed upon wall-papers, wall and furniture panels, curtains, and other hangings, upholstery fabrics, floor coverings, clothing and bed-clothing, and the like for the purpose of making electric heaters or rather warmers of them. Such a conductor, though of small thickness, will carry a substantial current because its flat form promotes loss of heat by radiation and conduction. The conductor will be insulated and protected by a covering, for instance of a varnish or plastic on which powdered metal oxide may be dusted to increase radiation; in the case of aluminium the conductor is preferably covered by oxidation for the same reasons.

When used on ordinarily ornamental fabrics such as wall-papers the pattern of Figure 9 may be made to provide or contribute to the ornamentation by a double printing process. There is first produced a pattern of parallel lines of say, aluminium, copper, zinc, iron or nickel. Upon this any ornamental design 53 is printed in an insulating ink. The sheet is then made the cathode in an electrolytic bath by which copper is deposited on the metal lines except where covered by ink. The final product is, as before, a sheet with a pattern of parallel lines of which those parts within the design are of higher resistance than the remainder. Alternatively the over-printed sheet may be anodised to bring about reduction in the cross-section of the unprotected parts.

However, the second pattern may be superposed merely for its appearance without any thought of making the pattern rather than the non-patterned part the source of heat, or vice versa. In this case it may be desired to render the pattern of parallel lines inconspicuous to the eye, by suitable dyeing of the base, or of the oxide-coated or otherwise insulated conductor. For such over-printing a pattern of parallel lines of aluminium may be used with advantage, and the sheet subjected to an anodising process and dyeing process by which effects of some beauty may be produced. By the use of dyes which change colour at a temperature above atmospheric and below that which the conductor, or a part of it, reaches when carrying current, a visual indication may be given when the heat is on.

A class of printed patterns deserving mention is the patterns for winding the toothed cores of dynamo-electric machines. In one form shown in Figure 18 the pattern is mainly a star, in which each ray is a group of parallel conductors 71 representing the conductors of one slot; the inner and if desired the outer ends of the rays are prolonged at an angle to their length to form end connections preferably of the form of involutes of a circle; the insulating material between the groups of slot conductors is removed as indicated by the doubled lines, so that the slot conductors

2,441,960

13

may be folded through a right angle to enter the slots. Or the slot conductors may appear in the pattern as parallel groups of parallel lines 73 (as seen in Figure 19) upon an insulating sheet which is to be wrapped around the slotted core, openings being punched between the slot conductors, as indicated by the dotted rectangles, for the passage of the teeth. The end connections may be brought into their proper relative position by folding of the insulating sheet. For example the pattern may consist of two rows of groups of parallel lines 73, 74, those of one row being joined to those of the other by other parallel lines 75 at an inclination to the groups, while the outer ends 76 of the group are prolonged at the same inclination. By folding this pattern about a line 77 at right angles to and mid-way between the groups, the latter are superposed in the same slots or made to lie side by side in neighbouring slots, while the inclined lines 75 and 76 become end connections of V form. The rectangular openings punched in the insulating sheet between the groups, as indicated by dotted lines, encircle the teeth when the winding is placed on the core.

The invention is even more readily applicable to dynamo-electric machines employing an armature of disc form or consisting of a plurality of discs, as in some types of multi-pole alternator and inductor alternator. One such disc is shown in Figure 20. The conductor 81 has its radial turns spaced a pole pitch apart, or in the case of the inductor a tooth pitch apart. The ground upon which the print is made and the metal built up may be stamped out as indicated by the dotted line 82.

An example of an electrical circuit component in the production of which a process including the step of transfer is desirable, is the electrodes of a thermionic tube or valve. Figure 21 shows the pattern of the electrodes for a double triode, with the exception of the cathode. There are two grids 84 and two anodes 85. A negative of this pattern may be printed in insulating ink on metal foil, and another metal may be deposited electrolytically on the bare lines of the foil. The imprint is then transferred to a permanent support of glass, which initially is a plane cross 86 as shown in Figure 22 with apertures 87 in it in position corresponding to the position of the elements of the grids in Figure 21. The foil which formed the temporary base is then removed. The support 86 is heated and (the print being on the upper face) its four limbs are folded downward through a right angle about the lines 88; then they are folded outward about the lines 89, and upward about the lines 91. The assembly is mounted on a glass stem around the cathode and connections are made from the grids and anodes to wires sealed through the stem; and the whole is then sealed into a bulb which is evacuated in the usual manner.

I claim:

1. A method of manufacturing a system of electric circuit connections involving crossing connections on a composite sheet formed of insulation backed metal foil, comprising preparing at least two drawings each of a part of the said circuit connections the conductors of which do not cross, said drawings together including all the circuit connections together with overlapping junctions which register when the drawings are superposed, preparing from each drawing a printing plate, printing from each plate upon separate foil surfaces, utilising the differentiation result-

14

ing from the imprint to produce a differentiation of conductive and non-conductive parts upon the printed surfaces by separating out from the composite sheet the non imprinted portion of said foil surfaces, perforating the said imprints at points where connections are required between one imprint and another, superposing a plurality of thus treated composite sheets with the imprinted foil surfaces thereof disposed in cooperating relationship, spaced from one another by the insulation backing thereof and making metallic connections between the foil imprints through the insulation backing therefor at the points of perforation of the foil imprints.

2. A method of manufacturing a system of electric circuit connections involving crossing connections on a composite sheet formed of insulation backed metal foil comprising preparing at least two drawings each of a part of the said circuit connections the conductors of which do not cross, said drawings together including all the circuit connections together with overlapping junctions which register when the drawings are superposed, preparing a printing plate from each drawing, printing from each plate with acid resist designs upon separate foil surfaces, utilizing the differentiation resulting from the imprint to produce a differentiation of conductive and non-conductive parts upon the printed foil surfaces by etching out from the composite sheet the non-imprinted portions of said foil surfaces, superimposing portions of the thus treated composite sheet with the imprinted foil surfaces thereof disposed in cooperating relationship and spaced from one another by the insulation backing thereof, and making electric connections between the foil imprints through the insulation backing therefor.

3. A method of manufacturing an electric circuit system involving crossing connections from a composite sheet of insulation backed metal foil, which comprises imprinting acid resist designs on separate portions of the foil surface, etching out the non-imprinted portion of the foil surface whereby the imprinted portion of the foil of each composite sheet defines insulation backed electric conductive circuit paths, superimposing portions of a composite sheet with at least one insulation backing interposed between the thus formed electric conductive circuit paths and conductively connecting said conductive circuit paths through said insulation backing.

4. A method of manufacturing an electric circuit system involving crossing connections from a composite sheet of insulation backed metal foil, which comprises imprinting and resist designs on separate portions of the surface of the foil layer thereof, forming connection zones on said foil layer at predetermined portions of said imprinted designs thereon, etching out the non-imprinted portion of the foil layer whereby the imprinted portion of foil layer of the composite sheet defines insulation backed electric conductive circuit paths, superimposing portions of the composite sheet with at least one insulation backing layer interposed between the thus formed electric conductive circuit paths, and conductively connecting said electric conductive circuit paths through said insulation backing at such connecting zone.

5. A method of manufacturing an electric circuit system involving crossing connections from a composite sheet of insulation backed metal foil, which comprises imprinting acid resist designs on separate portions of the surface of the foil layer thereof etching out the non-imprinted portion of the foil layer whereby the imprinted foil layer of

2,441,960

15

the composite sheet defines insulation backed electric conductive circuit paths extending along one plane, folding the composite sheet to superimpose a plurality of the thus formed electric conductive circuit paths in spaced planes with at least one of the insulation backing layers therefor interposed therebetween and conductively connecting said electric conductive circuit paths through said insulation backing.

6. A method of manufacturing an electric circuit system involving crossing connections from a composite sheet of insulation backed metal foil which comprises coating portions of the foil surface defining predetermined designs with an acid-resistant substance, etching out the non-coated portion of the foil layer, whereby the coating foil layer of the composite sheet defines insulation backed electric conductive circuit paths, removing the coating substance, superimposing portions of said composite sheet to provide a plurality of the thus formed electric conductive circuit paths with the insulation backing layers thereof interposed therebetween, and conductively connecting said electric conductive paths through said insulation backing.

7. A method of manufacturing an electric circuit system involving crossing connections from a composite sheet of insulation backed metal foil which comprises coating portions of the foil surface defining predetermined designs with an acid-resistant substance, etching out the non-coated

16

portion of the foil layer, whereby the coated foil layer of the composite sheet defines insulation backed electrical conductive circuit path, removing the coating substance, forming connection zones on the non-etched foil surface at predetermined portions thereof, superimposing portions of said composite sheet to provide a plurality of the thus formed electric conductive circuit paths of the insulation backing layers thereof, interposed therebetween and their connection zones in alignment and conductively connecting said conductive paths through said insulation backing at such connecting zones.

PAUL EISLER.

REFERENCES CITED

The following references are of record in the file of this patent:

UNITED STATES PATENTS

Number	Name	Date
378,423	Baynes	Feb. 28, 1888
1,563,731	Ducas	Dec. 1, 1925
1,647,474	Seymour	Nov. 1, 1927
1,709,327	Spalding et al.	Apr. 16, 1929
1,718,993	Wermine	July 2, 1929
2,066,511	Arlt	Jan. 5, 1937
2,166,367	Norris	July 18, 1939
2,268,619	Reid	Jan. 6, 1942
2,279,567	Hohnan	Apr. 14, 1942
2,282,203	Norris	May 5, 1942

Anexo D : Pontos que a empresa Micropress avalia em uma PCI

09/11/2020

E-mail de Welle Laser - Orçamento



Winícius Vendrame Correa <winicius.correa@wellelaser.com>

Orçamento

Comercial - Micropress <comercial@micropress.com.br>
Para: Winícius Vendrame Correa <winicius.correa@wellelaser.com>

9 de novembro de 2020 14:48

Boa tarde Winicius,

Avaliamos tudo, complexidade da placa, quantidade de placas solicitadas e o prazo de entrega.

O material que trabalhamos é o FR4 (fibra de vidro).

Att.

Paula da Silva

Supervisora de Vendas



+55 11 2940-6262 - 11 2940-6266

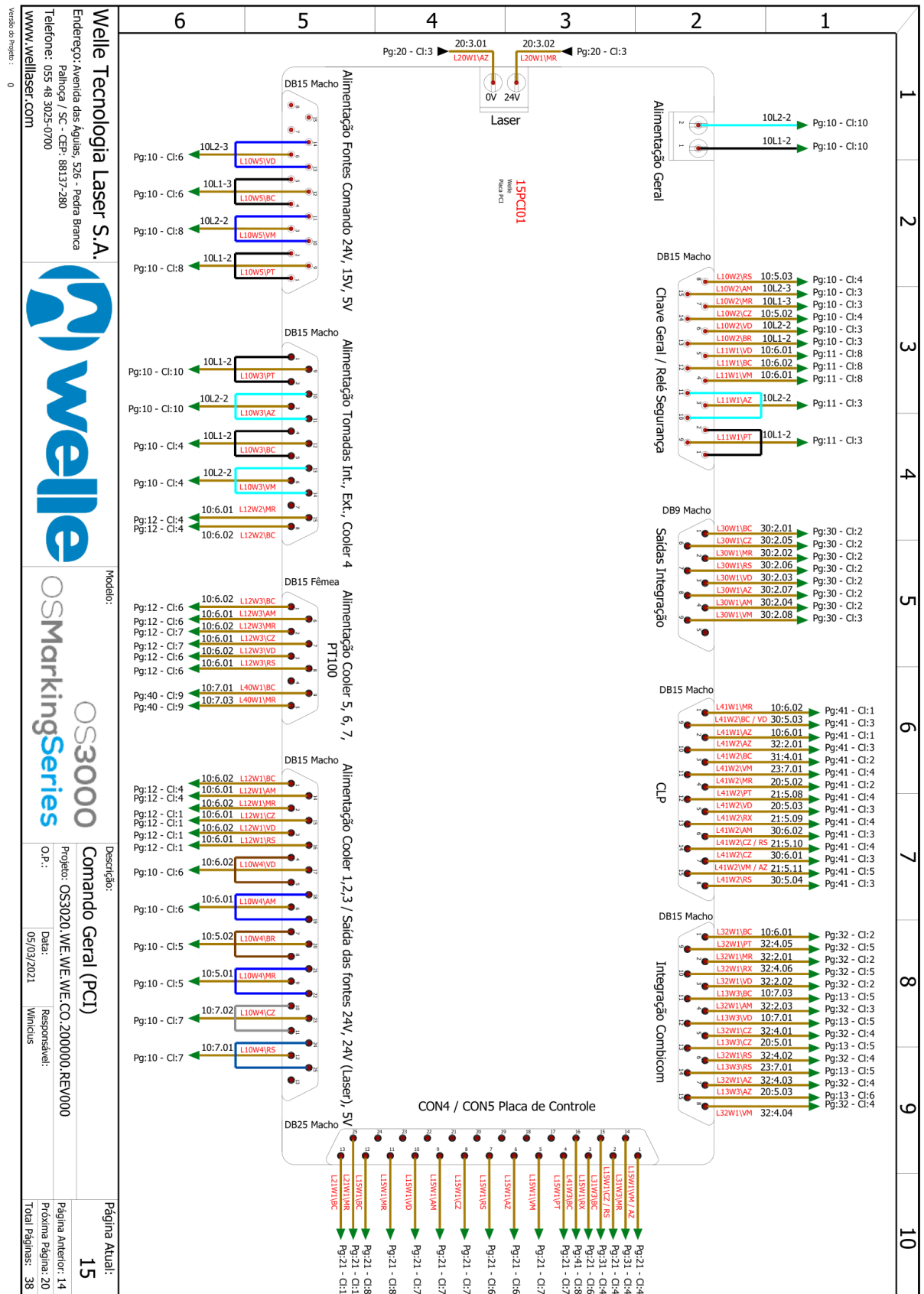
+55 11 97260-7760

www.micropress.com.br



[Texto das mensagens anteriores oculto]

Anexo E : Página do projeto elétrico com a PCI



Anexo F : Datasheet Relé Eletromecânico da Phoenix

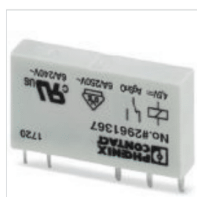
13/04/2021

PHOENIX CONTACT | Relé único - REL-MR- 4,5DC/21 - 2961367


[Home](#) | [Produtos](#) | [Módulos de relé](#) | [Módulos de relé eletromecânicos e de estado sólido](#) |

[Módulos de relé; altamente compactos](#) | [Lista de produtos Relés individuais](#)

Relé único - REL-MR- 4,5DC/21 - 2961367



Relé de potência miniatura plugável, com contato de potência, 1 contato reversível, tensão de entrada 4,5 V DC

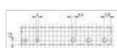
Artigo sob consulta

No cesto de compras

[Visão geral](#) | **[Dados técnicos](#)** | [Acessórios](#) | [Certificações](#) | [Downloads](#)

- [Desenhos](#)
[Condições ambientais](#)
[Lado de contato](#)
[Dados de conexão](#)
[Conformidade / Certificações](#)
[Classificações](#)
- [Medidas](#)
[Lado de excitação](#)
[Geral](#)
[Normas e disposições](#)
[Environmental Product Compliance](#)

Desenhos



Esquema de perfuração
a = divisão de passos 1,25 mm e 1,27 mm

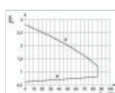


Diagrama
Faixa de tensão operacional

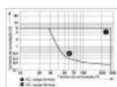


Diagrama
Potência de desligamento



Desenho de medidas



Diagrama de circuitos

Medidas

Largura	5 mm
Altura	28 mm
Profundidade	15 mm

Condições ambientais

Temperatura ambiente (funcionamento)	-40 °C ... 85 °C
Temperatura ambiente (armazenamento/transporte)	-40 °C ... 85 °C

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br/?uri=pxc-oc-itemdetail;pid=2961367&library=brpt&pcck=P-16-06-01-02&tab=1&selectedCategor...> 1/4

13/04/2021

PHOENIX CONTACT | Relé único - REL-MR- 4,5DC/21 - 2961367

Grau de proteção	RT III
-------------------------	--------

Lado de excitação

Tensão nominal de entrada U_N	4,5 V DC
Faixa de tensão de entrada relativa a U_N	vide diagrama
Típica corrente de entrada com U_N	38 mA
Tempo de resposta típico	5 ms
Tempo de retorno típico	2,5 ms
Resistência de bobina	119 Ω $\pm$ 10 % (a 20 °C)
Potência de dissipação máxima com condição nominal	0,17 W

Lado de contato

Versão do contato	1 inversor
Tipo de contato de comutação	Contato simples
Material de contato	AgSnO
Tensão de comutação máxima	250 V AC/DC
Tensão de comutação mínima	5 V (com 100 mA)
Corrente de comutação mínima	10 mA (com 12 V)
Corrente de ligação máxima	10 A (4 s)
Corrente máx. em regime permanente	6 A
Potência de desligamento (carga ôhmica) máxima	140 W (com 24 V DC)
	20 W (com 48 V DC)
	18 W (com 60 V DC)
	23 W (com 110 V DC)
	40 W (com 220 V DC)
	1500 VA (com 250 V AC)
Capacidade de comando	2 A (com 24 V, DC13)
	0,2 A (com 110 V, DC13)
	0,1 A (com 220 V, DC13)
	3 A (com 24 V, AC15)
	3 A (com 120 V, AC15)
	3 A (com 230 V, AC15)
Carga de motor conforme UL 508	1/4 HP, 240 ... 277 V AC (contato normalmente aberto)
	1/6 HP, 240 ... 277 V AC (contato normalmente fechado)

Geral

Tensão de teste	4 kV AC (50 Hz, 1 min., enrolamento/contato)
Modo operacional	100 % ED
Vida útil mecânica	2x 10 ⁷ ciclos de manobras
Posição de montagem	opcional
Instrução de montagem	ordenados sem intervalo

Dados de conexão

Tipo de conexão	Conexão soldável
------------------------	------------------

Normas e disposições

13/04/2021

PHOENIX CONTACT | Relé único - REL-MR- 4,5DC/21 - 2961367

Conexão conforme norma	CUL
Normas / Determinações	IEC 60664
	EN 50178
	EN 61810-1
Grau de impurezas	3
Categoria de sobretensão	III

Conformidade / Certificações

Denominação	Teste de gases nocivos
Identificação	ISA-S71.04. G3 Harsh Group
	EN 60068-2-60

Environmental Product Compliance

China RoHS	Período para uso previsto: ilimitado = EFUP-e
	Sem substâncias perigosas acima dos valores limite

Classificações

ECLASS

ECLASS 10.0.1	27371601
ECLASS 11.0	27371601
ECLASS 4.0	27371100
ECLASS 4.1	27371100
ECLASS 5.0	27371600
ECLASS 5.1	27371600
ECLASS 6.0	27371600
ECLASS 7.0	27371601
ECLASS 9.0	27371601

ETIM

ETIM 2.0	EC001437
ETIM 3.0	EC001437
ETIM 4.0	EC001437
ETIM 6.0	EC001437
ETIM 7.0	EC001437

UNSPSC

UNSPSC 6.01	30211916
UNSPSC 7.0901	39121515
UNSPSC 11	39121515
UNSPSC 12.01	39121515
UNSPSC 13.2	39122334
UNSPSC 18.0	39122334
UNSPSC 19.0	39122334
UNSPSC 20.0	39122334
UNSPSC 21.0	39122334