UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LED - LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA E DISPOSITIVOS
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E MICROELETRÔNICA

Anteprojeto de um Sistema de Medição para Hidrômetros Eletrônicos

Autor: **Márcia Reis de Oliveira**

Orientador: **Prof. Dr. José Antônio Siqueira Dias**

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Marcia Reis de Oliveira e aprovada pela Comissão Julgadora em 20 / 12 / 90.

José Antonio Siqueira Dias
Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA. Campinas-SP, 20 de Dezembro de 1990.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Sumário

Este trabalho refere-se ao anteprojeto de um sistema de medição para hidrômetros eletrônicos, cujo objetivo foi de se obter uma maior confiabilidade, além de uma maior precisão nos sistemas atualmente em uso pela SABESP. Foi desenvolvido o projeto de um circuito integrado contendo uma parte analógica(bipolar) e uma parte digital (em tecnologia I2L). Estes circuitos operam com 3 volts de alimentação e consomem 15uA permitindo uma duração de 3,0 a 3,5 anos às baterias de alimentação do circuito. Foi também desenvolvido um sensor eletromagnético e um sistema de interface para saída de dados para uma leitora externa.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador José Antonio Siqueira Dias, pelo apoio,incentivo e por sua eficiente orientacão sem a qual não teria sido possível a realizacão deste trabalho. Agradeço também a Oséas pelas suas proveitosas sugestões e a Daniel pela amizade e cooperacão.

ÍNDICE

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Medidores de Consumo de água 1–1
1.2. Objetivos do Trabalho 1–2
1.3. Resumo das Características do Hidrômetro Eletrônico 1–2

Cápitulo 2 – PROJETO DOS CIRCUITOS ANALÓGICOS

2.1. Desenvolvimento do Sensor 2–4
2.2. Amplificador 2–5
2.2.1. Cálculo do Ganho do Amplificador: 2–6
2.3. Comparador 2–7
2.3.1. Consumo de Corrente 2–9

Capítulo 3 – PROJETO DOS CIRCUITOS DIGITAIS DO CI

3.1. Introdução 3–11
3.2. Tecnologia I2L 3–13
3.2.1. Estrutura Básica MTL e Operação 3–13
3.2.2. Conversão de Circuito Lógico para I2L 3–14
3.3. Projeto dos Contadores 3–16
3.3.1. Conversão de Pulsos para Consumo 3–16
3.3.2. Contador 1: Divisor por m3 3–18
3.3.2.1. Circuito em I2L para zeragem do Contador-1: 3–21
3.3.2.2. Entrada do Contador 1: 3–21
3.3.2.3. Saída do Contador -1: 3–24
3.3.3. Contador 2 (0 a 9.999 m3) 3–24
3.3.3.1. Circuito em I2L para Zeragem do Contador-2: 3–25
3.4. Transmissão de Dados para a Leitora 3–29
3.4.1. Multiplex 3–30
3.4.2. Decodificador 3–30
3.4.3. Contador do MUX 3–30

Capítulo 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS E CONCLUSÕES

4.1. Teste do Sensor e Condicionador de Sinal 4–36
4.2. Conclusões 4–39

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Medidores de Consumo de água

Os medidores de consumo de água comumente chamados de hidrômetros utilizados pela SABESP e outras empresas afins, em todo o Brasil, são instrumentos mecânicos que apresentam uma série de limitações quanto ao seu desempenho.

O sistema de funcionamento destes hidrômetros envolve, basicamente, uma turbina que, apoiada sobre mancais, gira com a passagem da água. Um sistema de engrenagens (do tipo relógio odômetro) é acoplado magneticamente à turbina, de forma a registrar, cumulativamente, o número de voltas que a turbina dá. Como a velocidade da turbina é aproximadamente proporcional ao fluxo de água, o resultado registrado no odômetro é proporcional ao volume de água que atravessou a turbina.

Este sistema apresenta, no entanto, uma série de inconvenientes, dentre os quais podemos citar:

- As medições de pequenas vazões são bastante imprecisas;
- A leitura dos dados está muito sujeita a erros, decorrentes tanto das anotações dos valores registrados nos hidrômetros pelo funcionário que realiza a leitura nas residências, como na transcrição desses dados, já no escritório da empresa de distribuição, no momento da emissão das contas.
- O custo do hidrômetro é muito alto.

A construção de um hidrômetro eletrônico tem por objetivo oferecer maior confiabilidade na leitura, armazenamento e processamento dos dados, que poderiam ser coletados eletronicamente, e a redução do custo do hidrômetro, eliminando completamente os sistema de relojoaria.

1.2. Objetivos do Trabalho

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade e desenvolver um anteprojeto de um hidrômetro eletrônico, compatível com o hidrômetro mecânico (do tipo velocidade, jato simples, acoplamento magnético, vazão máxima de 1,5 m^3/h, com dispositivo de regulagem externa, que é o sistema normalmente empregado em sistemas residenciais).

As características técnicas que devem ser obtidas para este hidrômetro eletrônico são as mesmas exigidas para os hidrômetros taquimétricos de água fria, descritas nas normas SABESP NBR 8009, NBR 8194, NBR 8193 e NBR 8195.

1.3. Resumo das Características do Hidrômetro Eletrônico

Resumimos, a seguir, as principais características existentes naquelas normas, que foram consideradas como básicas para o desenvolvimento do anteprojeto.

a) Quanto ao Sensor

- O sensor deverá reconhecer a presença de campos magnéticos de aproximadamente 100 gauss e, preferencialmente, não deve ter partes móveis;
- Não deve apresentar degaste mecânico ou elétrico;
- O consumo de potência do sensor deverá ser muito baixo, de forma a não aumentar o consumo das baterias que alimentarão o hidrômetro;
- Caso o sensor use o movimento da água para gerar sua própria energia, o consumo de energia deve ser mais baixo do que o provocado pelo atrito mecânico no sistema convencional, de forma que se possam obter resultados mais precisos nas medições de fluxos muito baixos.
- Deve ser capaz de operar na faixa de 0,1 a 50 Hz (frequência de rotação da turbina)

b) Quanto ao módulo eletrônico de medida.

- O medidor deverá registrar o consumo d'água com base no fator de 47 voltas da turbina por litro. A saída disponível para a unidade de leitura deve fornecer os dados com precisão de 0,1 m^3, com capacidade de 9999,9 m^3. Deve, também, sob operação de uma leitora especial, poder fornecer uma saída com precisão de 0,1 litro, para finalidade de calibração e aferição;
- O medidor deve, se possível, comunicar-se com a leitora através de um sistema que dispense contatos mecânicos;
- A alimentação do medidor deverá ser realizada por meio de baterias que devem ter uma duração de, no mínimo, 4 anos.

- O medidor, de preferência, deve ser incorporado em um único Circuito Integrado, que realize o tratamento do sinal do sensor, o processamento dos dados de leitura (contagem , armazenamento), tendo ainda um protocolo de comunicação com uma leitora eletrônica.

Neste trabalho, apresentamos o desenvolvimento e teste do sensor, adaptado a um hidrômetro mecânico convencional. Foi também realizado o anteprojeto de um sistema digital para tratamento dos dados. São propostos, no anteprojeto, sistemas em tecnologia bipolar, visando a possibilidade de futura confecção do circuito integrado deste hidrômetro eletrônico no Brasil, onde tanto a tecnologia analógica convencional como a tecnologia digital I2L são disponíveis.

Cápitulo 2

PROJETO DOS CIRCUITOS ANALÓGICOS

2.1. Desenvolvimento do Sensor

O primeiro passo no desenvolvimento do hidrômetro eletrônico foi a criação de um sensor que transformasse o movimento das palhetas da turbina usada no hidrômetro convencional em sinal elétrico possível de ser tratado pelo circuito integrado.

O sensor desenvolvido foi do tipo eletro-magnético, tendo sido utilizado o movimento de rotação das palhetas da turbina para a criação de um campo magnético variante no tempo.

O princípio básico de funcionamento do sensor é baseado na variação do fluxo magnético em um indutor (Lei de Lenz) que permite a obtenção de uma tensão proporcional à derivada do fluxo em relação ao tempo:

$$e = -N\left(\frac{d\Phi}{dT}\right)$$

onde "e" é a tensão gerada, Φ é o fluxo magnético e N é o número de espiras do indutor. Dessa forma, podemos obter uma tensão induzida nos terminais do indutor, gerada pela variação do fluxo magnético existente no imã permanente que gira junto com a turbina. Como existem 2 polos no sistema de imã da ventoinha, é detectado um pulso por volta.

Na fig. 2.1 temos um desenho do sistema de imã acoplado ao sensor, que é constituído por um núcleo do material ferro-magnético e uma bobina, enrolada em um carretel de pequenas dimensões. O sistema de detecção é alojado inteiramente na parte superior do hidrômetro, ficando totalmente isolado do contato com a água. A posição relativa do núcleo magnético e da bobina não são importantes, já que qualquer que seja a colocação do conjunto o funcionamento do sensor é o mesmo.

Como, entretanto, existem limitações físicas quanto ao tamanho da bobina (que deve ser bem pequena, de forma a não ocupar muito espaço na parte superior do hidrômetro) e a velocidade de rotação da ventoinha é muito baixa quando a vazão está no seu valor mínimo (a frequência de rotação da ventoinha é da ordem de 0,1 Hz para o hidrômetro de 1,5 metros cúbicos) o valor da tensão gerada é muito baixo (alguns milivolts). Isso impede que o sinal seja utilizado diretamente pelo circuito contador, sendo necessário amplificar e dar um formato adequado ao sinal (transformar o sinal, que é senoidal, em uma onda quadrada) para que possamos excitar os circuitos digitais adequadamente.

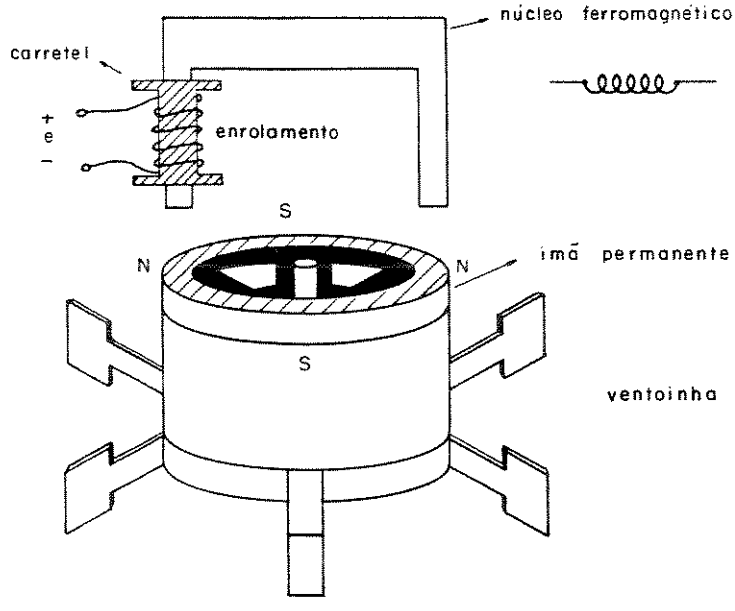


FIG.2.1 - Sistema Turbina/Sensor

O sensor utilizado nos testes possuia um núcleo de ferro com secção de 9mm quadrados e uma bobina comercial, utilizada em "reed-relays" de 24 voltas. Este sensor apresentou uma tensão de saída típica de 2 milivolts de pico, quando na condição de fluxo mínimo.

2.2. Amplificador

O circuito do amplificador deve ter alto ganho (aproximadamente 200) para que o sinal do sensor tenha um valor razoável ao entrar no estágio de conformação do sinal. Como, no entanto, o sinal do sensor é da ordem de grandeza do "off-set" de um par

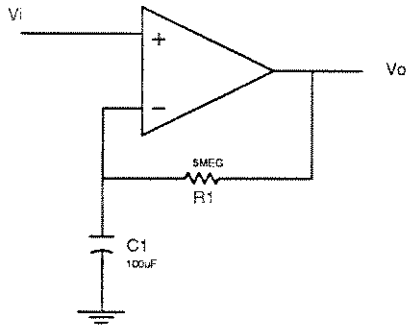


FIG.2.2 - Diagrama em Blocos do Amplificador

diferencial, não é possível aplicar o ganho de 200 na malha de realimentação do amplificador, uma vez que estaríamos amplificando também o "off-set", o que tornaria quase impossível a recuperação do sinal.

O amplificador projetado utiliza dois tipos de realimentação: uma realimentação DC com ganho unitário para o "off-set", e uma realimentaçâo AC, com ganho de aproximadamente 200, para o sinal do sensor.

Na fig. 2.2 temos um diagrama de blocos do amplificador. Como ele deve consumir o menor valor possível de corrente (o sistema deve ser alimentado por baterias), fizemos a opção de utilizar somente um estágio de ganho (com carga ativa) o que, além de diminuir a corrente necessária ao circuito, também elimina a necessidade de compensação em frequência.

2.2.1. Cálculo do Ganho do Amplificador:

O ganho de malha fechada do amplificador apresentado na fig. 2.2 é:

$$G_V = \frac{R_1}{Z_c} + 1$$

onde Zc é a impedância do capacitor.

Em DC a impedância do capacitor C1 será infinita e o ganho se reduzirá a Gv = 1. Na frequência mínima de rotação do hidrômetro (0,1 Hz) temos:

$$Z_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_1} = 16\,K\Omega$$

$$G_V = \frac{5M\Omega}{16K} + 1 = 312$$

O circuito completo do amplificador é apresentado na fig. 2.3 Os resistores R1, R2 e o capacitor C1 são, devidos aos seus altos valores, obviamente, externos ao circuito. O circuito é constituido pelo par diferencial Q1-Q2, com carga ativa (Q3-Q4) e um transistor de *buffer* Q5, polarizado através do transistor Q6.

Na fig. 2.4 temos o gráfico de ganho x frequência do amplificador obtido através do programa de simulação de circuitos eletrônicos SPICE II G-6

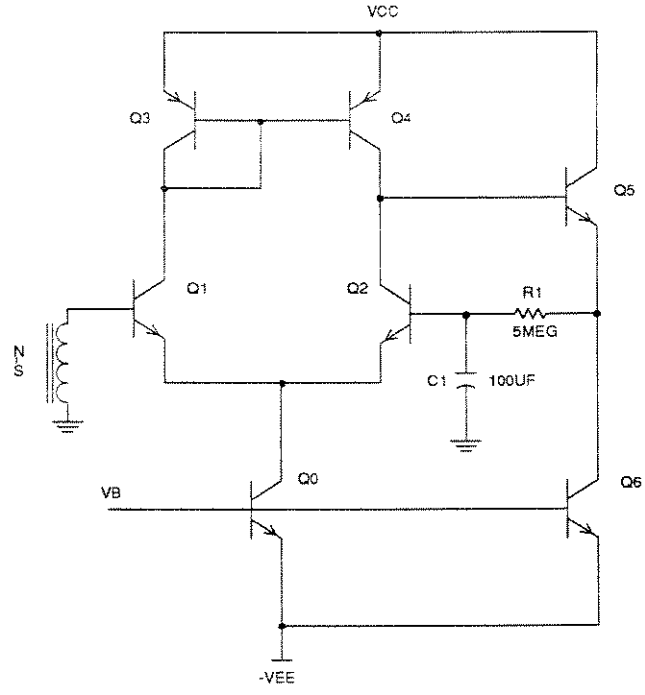


FIG.2.3 - Amplificador CA

2.3. Comparador

Para que o sinal do sensor possa excitar o circuito do contador, é necessário passá-lo por um comparador, de forma a obter uma onda quadrada com níveis adequados para excitar as entradas dos circuitos digitais I^2L.

Para evitar falsos pulsos no comparador, devido à presença de ruído no sinal do sensor, é necessário que o comparador possua histerese.

O comparador, apresentado na fig. 2.5, usa uma estrutura não convencional, composta por um par diferencial e uma carga formada por um circuito com realimentação positiva.

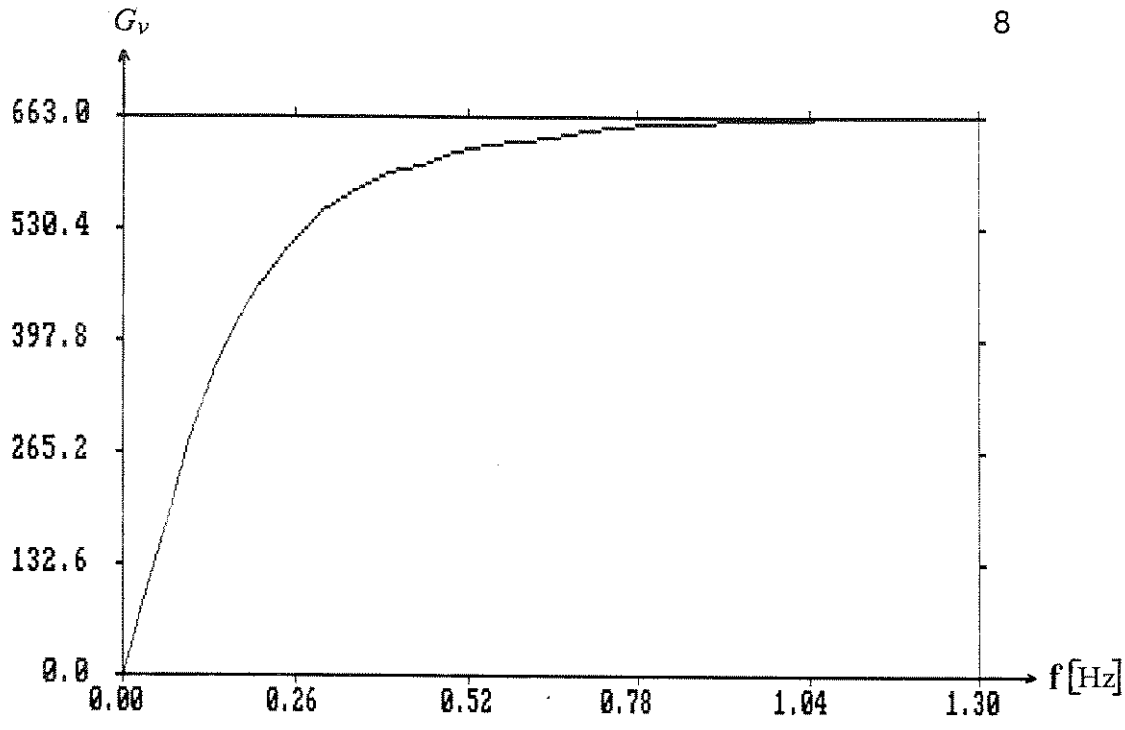


FIG.2.4 - Resposta em frequência do Amplificador

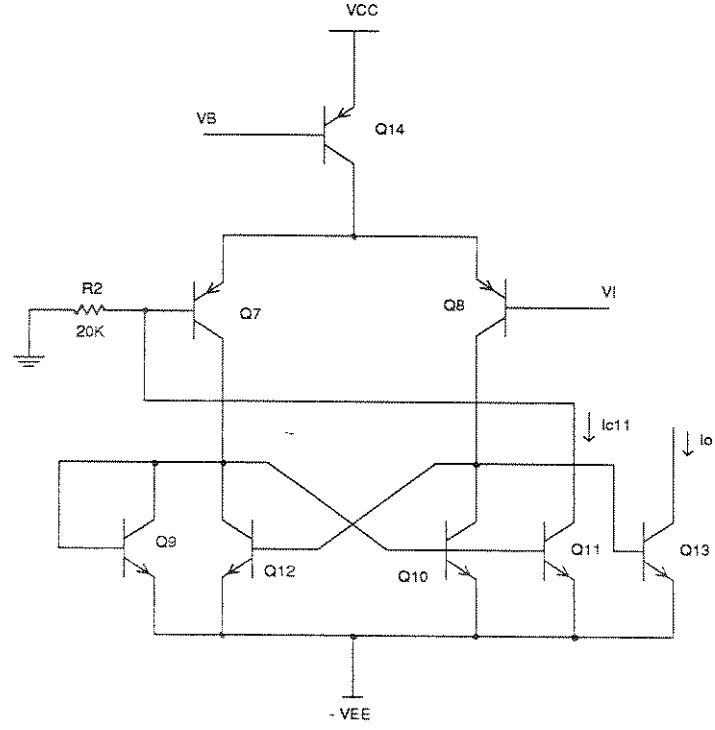


FIG.2.5 - Comparador

O circuito de carga utiliza espelhos de corrente para definir a corrente usada no circuito de histerese (Q11 e R2).

Os espelhos de corrente garantem que as correntes que fluem nos transistores Q9-Q11 sejam iguais à corrente de polarização do par diferencial, sendo, portanto, fácil o ajuste da histerese, que fica sendo dada pelo produto $I_{c11}.R_2$.

2.3.1. Consumo de Corrente

A fig. 2.6 mostra o circuito completo (Amplificador-Comparador). A corrente de polarizacão do circuito é :

$$I_{pol} = \frac{3.0V - 3 \cdot Vbe}{2M\Omega} = 0{,}75\ uA \qquad para\ Vbe = 0{,}5V$$

Através dos espelhos de corrente temos que a corrente dc total consumida é:

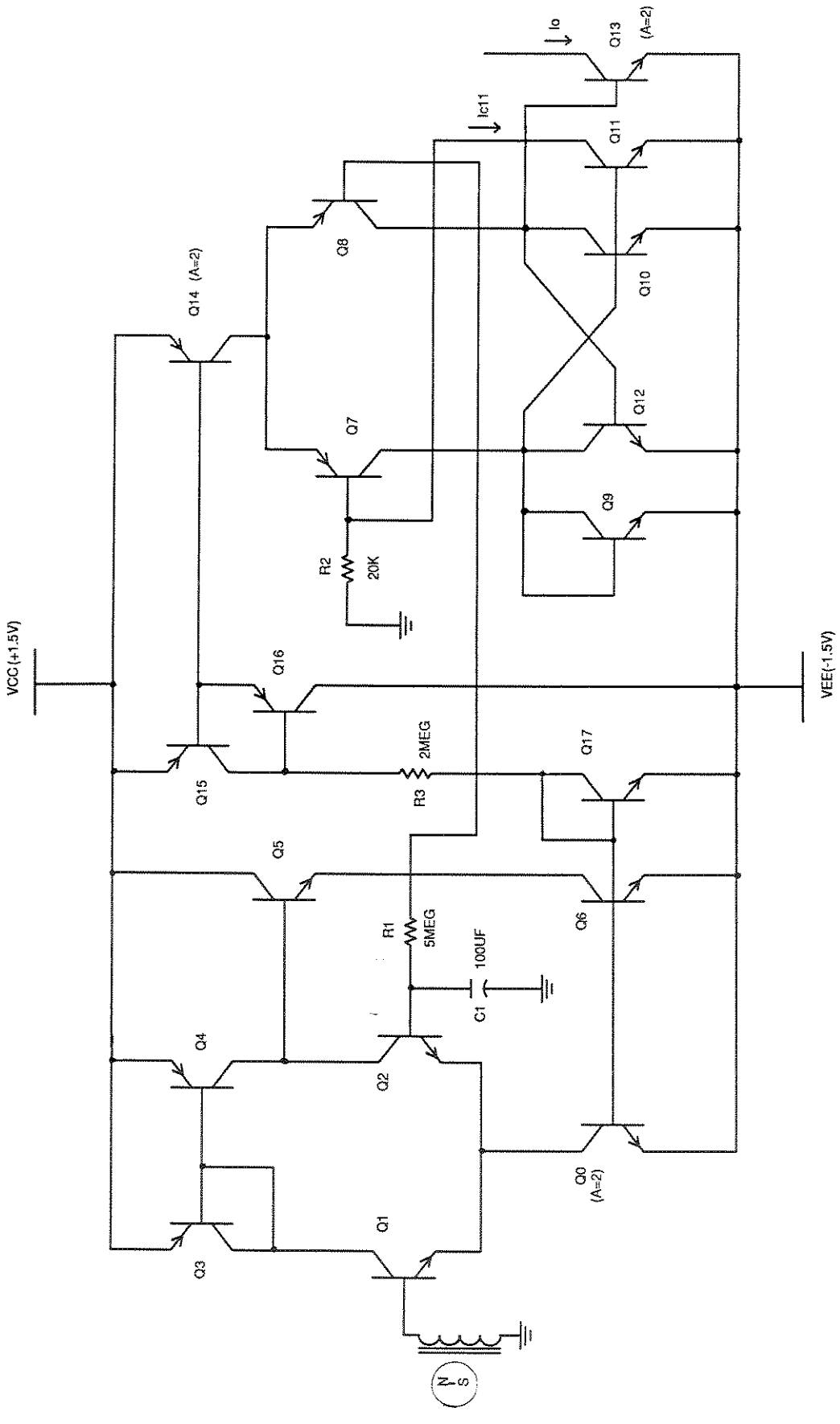
$$I_{cons} = 0{,}75(I_{pol}) + 0{,}75(Q6) + 1{,}5(Q0) + 1{,}5(Q14) = 4{,}5uA$$

Obs.: Os transistores Q0, Q13 e Q14 têm o dobro da área dos demais transistores.

Portanto, o consumo de corrente dos circuitos do amplificador e do comparador é bastante baixo fazendo com que a duração da bateria seja uma função quase que exclusiva do consumo da parte I^2L, que deve consumir cerca de 12 uA.

Estes circuitos funcionam mesmo quando a tensão de alimentação cai, dos 3,0 V especificados, para cerca de 2,0 V, permitindo que as baterias sejam utilizadas até o fim de sua vida útil.

Supondo um consumo total de 18 uA seria necessária a utilização de uma bateria com capacidade de 430 mA-hr, para que sua duração seja de pelo menos 3 anos.



Bloco Analógico Completo

Capítulo 3

PROJETO DOS CIRCUITOS DIGITAIS DO CI

3.1. Introdução

O CI digital deverá possuir um circuito responsável pela contagem de pulsos provenientes do comparador e um circuito para transmissão de dados do hidrômetro para uma leitora externa.

A tecnologia a ser utilizada para os circuitos digitais será I^2L (Lógica de Injeção Integrada), por ser esta compatível com circuitos analógicos e disponível no LED.

O esquema geral do Sistema de Medição é apresentado na fig.3 .1.

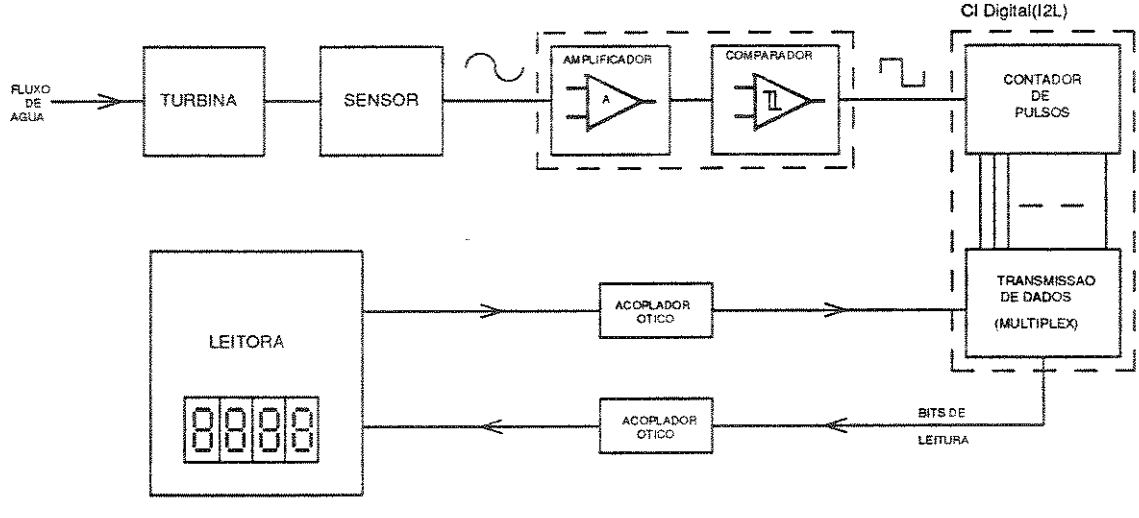
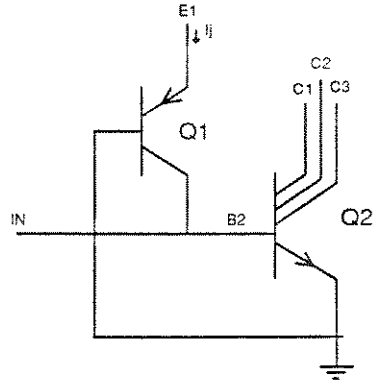
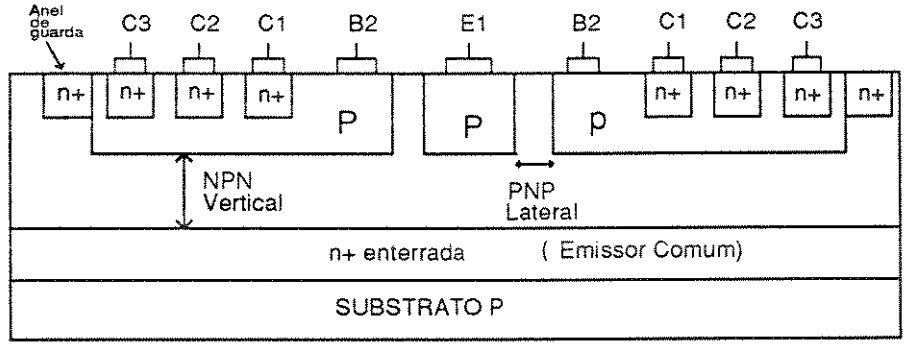


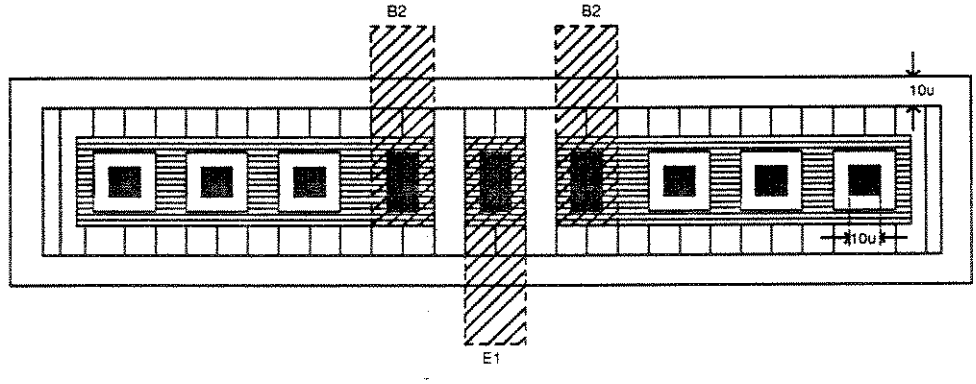
Fig.3.1 - Esquema Geral do Sistema de Medição



(A)



(B)



(C)

LEGENDA:

ABERTURA DE CONTATO

METALIZACAO

DIFUSAO N (EMISSOR COMUM)

ISOLACAO N+

DIFUSAO DE COLETOR N+

DIFUSAO DE BASE P

FIG.3.2 - LOGICA DE INJECAO INTEGRADA (I2L);

(A) Esquema eletrico da celula basica

(B) Arranjo fisico

(C) Layout

3.2. Tecnologia I^2L

3.2.1. Estrutura Básica MTL e Operação

A fig. 3.2 mostra uma família lógica conhecida como lógica de injeção integrada (I^2L), lógica de transistores fundidos (MTL) ou lógica de múltiplos coletores. Ela é baseada na porta DCTL, na qual os emissores, tanto como as bases dos transistores que são comandadas a partir do mesmo resistor, vão para pontos comuns. Portanto, para esses dispositivos, apenas os coletores são separados. Assim, é possível usar transistores invertidos, com múltiplos coletores, para combinar todos os dispositivos com emissores e bases comuns dentro de uma estrutura. O resistor de excitação da base também pode ser substituido por uma fonte de corrente pnp. Tal arranjo é mostrado na fig. 3.2.a

O transistor pnp fornece a corrente de injeção do transistor npn, daí o nome de lógica de injeção.Este transistor possui suas regiões de base e coletor comuns às regiões de emissor e de base do dispositivo npn. Se ele for feito num transistor lateral, então pode ser fundido na estrutura npn, daí o nome alternativo de lógica de transistores fundidos, como é mostrado na fig. 3.2.b. Nesta estrutura um único injetor é usado para fornecer corrente a dois dispositivos npn. Deve ser observado que não são necessárias regiões de isolação ou resistores, o que faz com que a densidade de circuito seja muito alta. Anéis de guarda são normalmente incluídos, para evitar a indução de sinais através de linhas paralelas entre dispositivos adjacentes. Um único injetor pode ser usado em diversos transistores npn, contanto que todos eles estejam operando com níveis idênticos de corrente de injetor. Uma vez que esta corrente varia exponencialmente com a tensão, é essencial usar uma barra coletora injetora de baixa impedância, ou transistores no extremo distante do injetor receberão corrente insuficiente. Uma outra alternativa seria a utilização de pequenas regiões de injetor, servindo a duas portas I^2L somente e interligadas por metalização à fonte de alimentação única, como será adotado no projeto do CI.

No dispositivo básico I^2L mostrado na fig. 3.2.a, o transistor de saída está conduzindo quando a tensão de entrada é alta e vai para o corte quando a entrada é baixa, uma vez que a corrente de injeção de Q1 é desviada da base de Q2. A fig. 3.3 mostra como esta estrutura básica pode ser interconectada como portas NOR e OR. Para a porta NOR a saída é uma lógica 1, definida como circuito aberto neste caso, somente se ambas as entradas A e B estiverem na lógica 0. Quando se considera que esta porta NOR pode

ser fabricada, como na figura 3.2.b, e que dois coletores de cada porta estão ainda de reserva, as vantagens da I^2L se tornam evidentes. Além disso, conforme visto na fig. 3.3, a estrutura de múltiplos coletores possibilita que várias combinações lógicas sejam geradas usando um número mínimo de dispositivos.

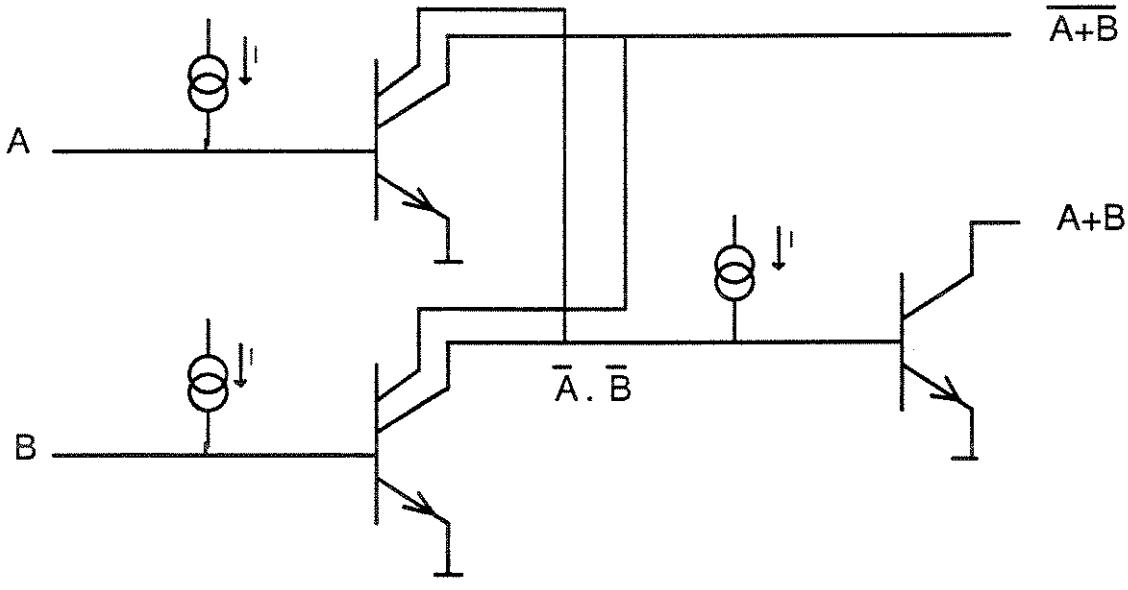


Fig.3.3 - Portas Lógicas I2L

3.2.2. Conversão de Circuito Lógico para I^2L

Como vimos anteriormente, quando circuitos I2L são descritos em lógica positiva eles representam um negação seguida por uma ligação AND, que corresponde a uma lógica NOR. Em geral , entretanto, pode ser mais vantajoso basear o projeto de um circuito I2L não em portas NOR, mas em portas NAND. Para explicar isto há três pontos que se deve considerar. Primeiro, todo coletor nos transistores multicoletores tem como efeito a negação do sinal de base. Segundo, uma ramificação do sinal toma lugar entre base e coletores. Terceiro, cada coletor ou conjunto de coletores interconectados em circuitos I2L podem drenar corrente somente de uma base. É, talvez, mais óbvio considerar uma base do transistor I2L junto com uma ligação AND precedentte como uma entidade, e pensar em termos de NAND quando do esboço do circuito I2L em portas lógicas. Na fig.3,.4 está ilustrado um exemplo de conversão de porta NAND para um circuito I2L.

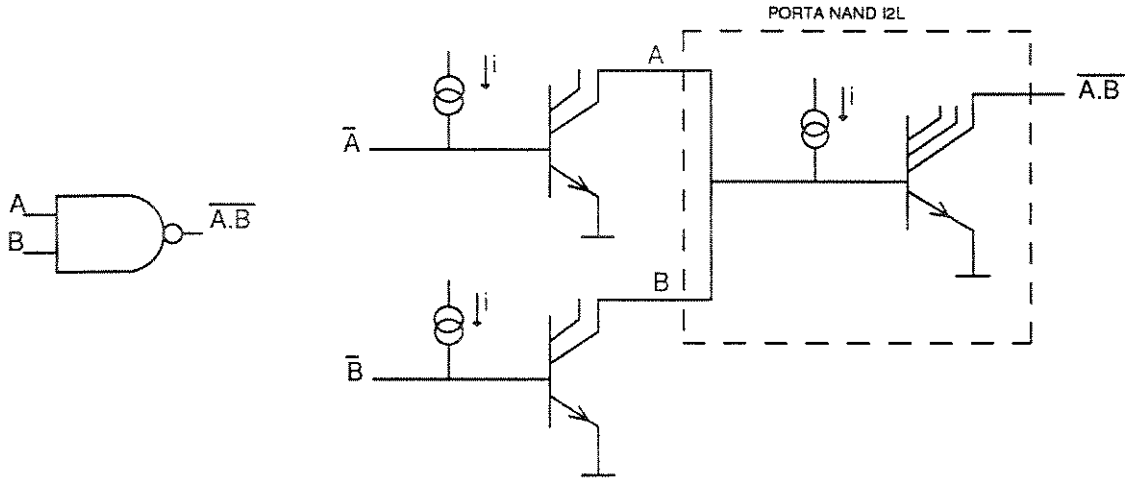


Fig.3.4 - Porta NAND I2L

A seguir veremos um exemplo de conversão de um circuito lógico (em portas NAND) de um flip-flop D com entradas set e reset para o circuito equivalente em I^2L.

As seis NAND's da fig. 3.5 são representadas pelos transistores Q8, Q6, Q3, Q5, Q1 e Q2 (fig.3.6). A dupla entrada $\overline{S}$ é obtida de um transistor adicional (Q9) alimentado por S, e as entradas $\overline{R}$ são obtidas do transistor Q4. A entrada dupla do clock $\overline{T}$ vem do

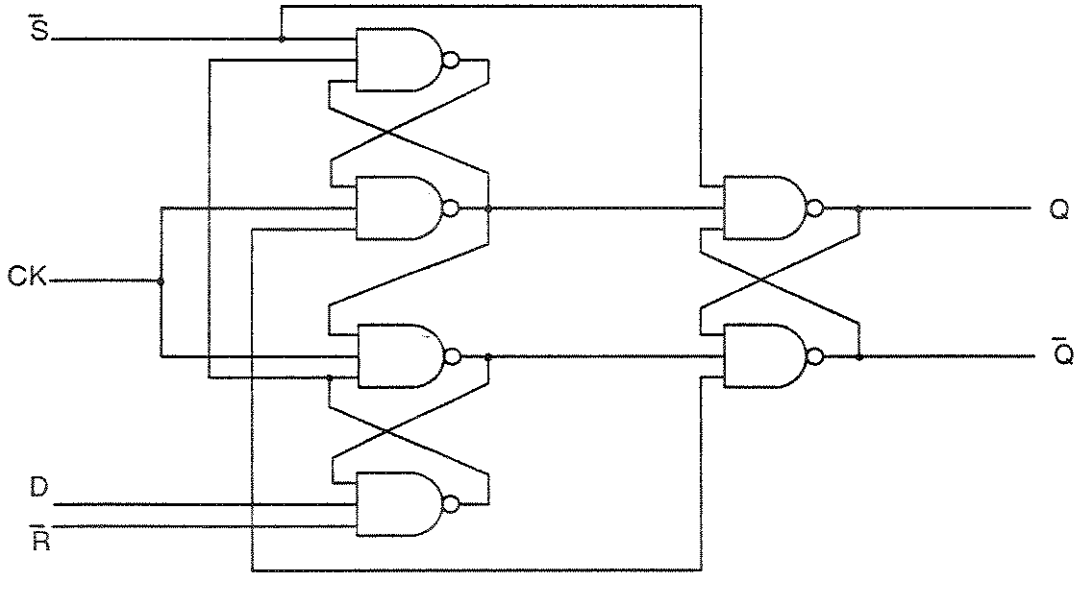


Fig.3.5 - FLIP-FLOP D

transistor Q7, que deverá ser alimentado por T. A entrada D, que chega direto a uma ligação AND, vem de um transistor fora do circuito.

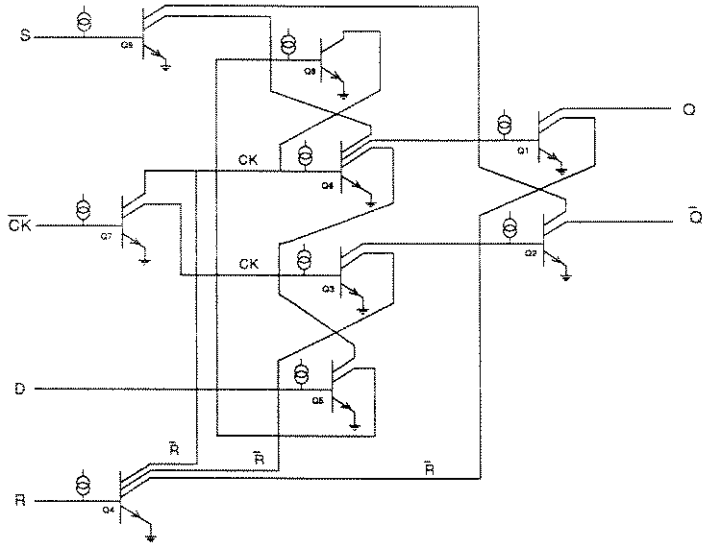


Fig.3.6 - Flip-flop D com Portas I2L

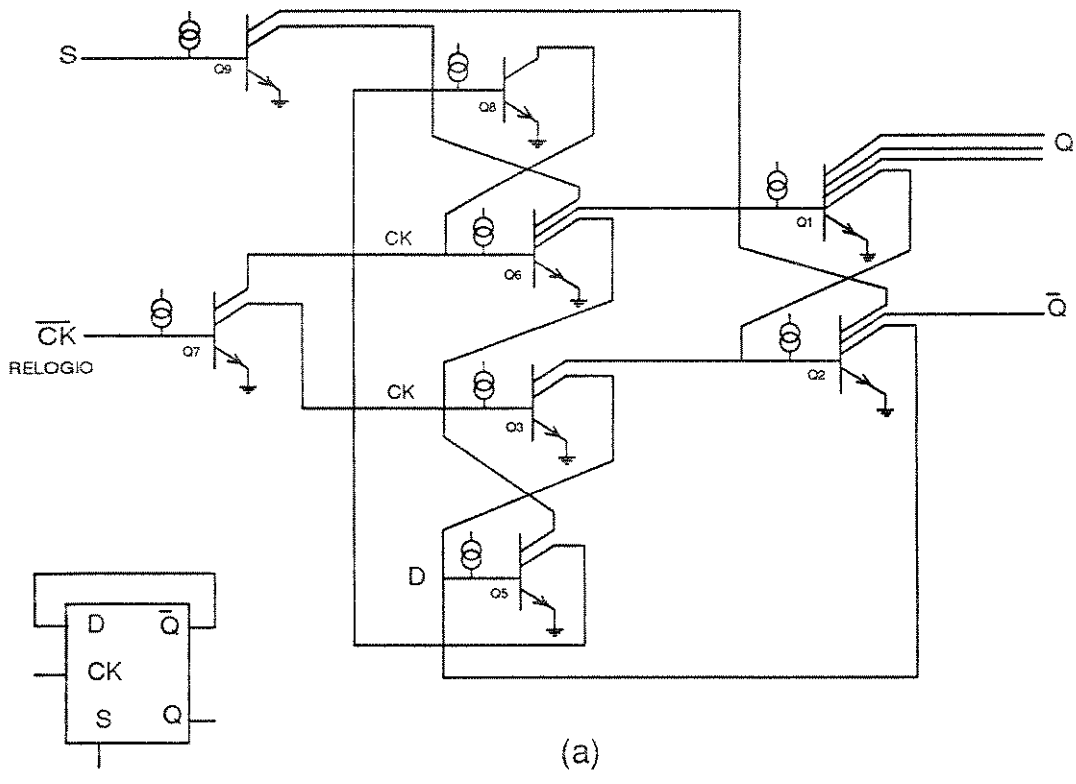
3.3. Projeto dos Contadores

A leitura do consumo de água será em metros cúbicos, sendo a faixa especificada de 0 a 9.999 metros cúbicos.

Para se efetuar esta leitura teremos dois contadores. O 1º contador deverá contar um número máximo de pulsos equivalentes a um consumo de um metro cúbico (1000 litros). Assim a cada metro cúbico de água consumida o primeiro contador mandará um pulso de clock para o segundo contador. Portanto, o segundo contador deverá ter uma capacidade máxima de contagem de 9.999 pulsos que equivaler ao consumo máximo de 9.999 metros cúbicos.

3.3.1. Conversão de Pulsos para Consumo

Contador 1: o clock do primeiro contador é fornecido pela saída do comparador que gera um pulso a cada volta da turbina do hidrômetro. Para o hidrômetro a ser utilizado mediu-se uma rotação de 47 voltas para uma vazão de um litro de água.Então, cada



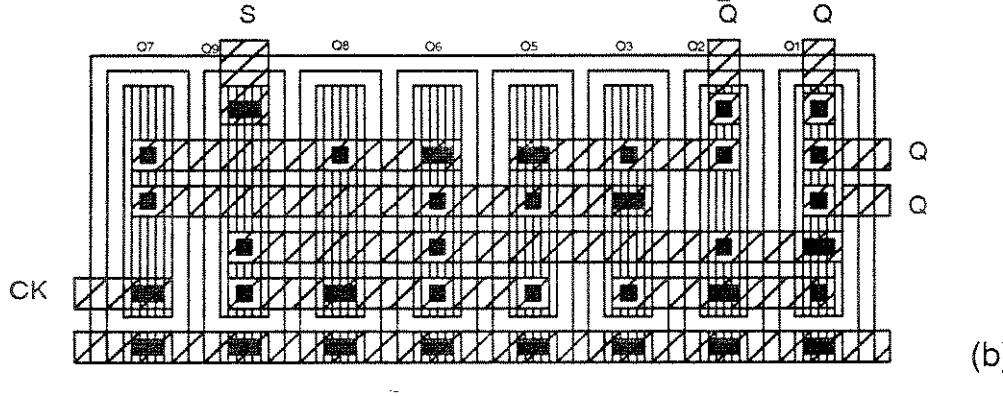


FIG.3.7 - DIVISOR POR 2 I2L

(a) - ESQUEMA ELETRICO

(b) - LAYOUT

LEGENDA:

- Contato
- Difusao de base (p+)
- Metal
- Difusao n+

litro corresponde a 47 pulsos de clock, ou seja, cada pulso equivale a um consumo de 21 ml. A capacidade máxima de contagem será, portanto, 47000 pulsos para um consumo de um metro cúbico.

Contador 2: cada pulso de clock proveniente da saída do primeiro contador equivale a um consumo de um metro cúbico.

3.3.2. Contador 1: Divisor por m^3

Este contador, do tipo assíncrono, será formado por uma sequência de 16 flip-flops D ligados como divisor por 2. Após o $47.000^{\underline{0}}$ pulso será zerado o contador.

Na fig. 3.7 temos o circuito I^2L do flip-flop D ligado como divisor por 2 e seu respectivo layout.

A tabela da fig. 3.8 representa o ciclo de contagem do contador com as saídas $\overline{Q}$ dos flip-flops. De acordo com esta tabela, após o $47.000^{\underline{0}}$ pulso devemos impor estado zero às saídas $\overline{Q}_3$, $\overline{Q}_4$, $\overline{Q}_7$, $\overline{Q}_8$, $\overline{Q}_9$, $\overline{Q}_{10}$, $\overline{Q}_{12}$, $\overline{Q}_{13}$ e $\overline{Q}_{15}$ e, portanto, devemos setar os respectivos flip-flops. O esquema completo do contador está representado na fig. 3.9, onde uma porta AND de 16 entradas foi utilizada para setar os flip-flops.

PULSE	$\overline{Q15}$	$\overline{Q14}$	$\overline{Q13}$	$\overline{Q12}$	$\overline{Q11}$	$\overline{Q10}$	$\overline{Q9}$	$\overline{Q8}$	$\overline{Q7}$	$\overline{Q6}$	$\overline{Q5}$	$\overline{Q4}$	$\overline{Q3}$	$\overline{Q2}$	$\overline{Q1}$	$\overline{Q0}$	SET
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
.....																	
47000	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1

Fig.3.8 - Tabela verdade (Contador-1)

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

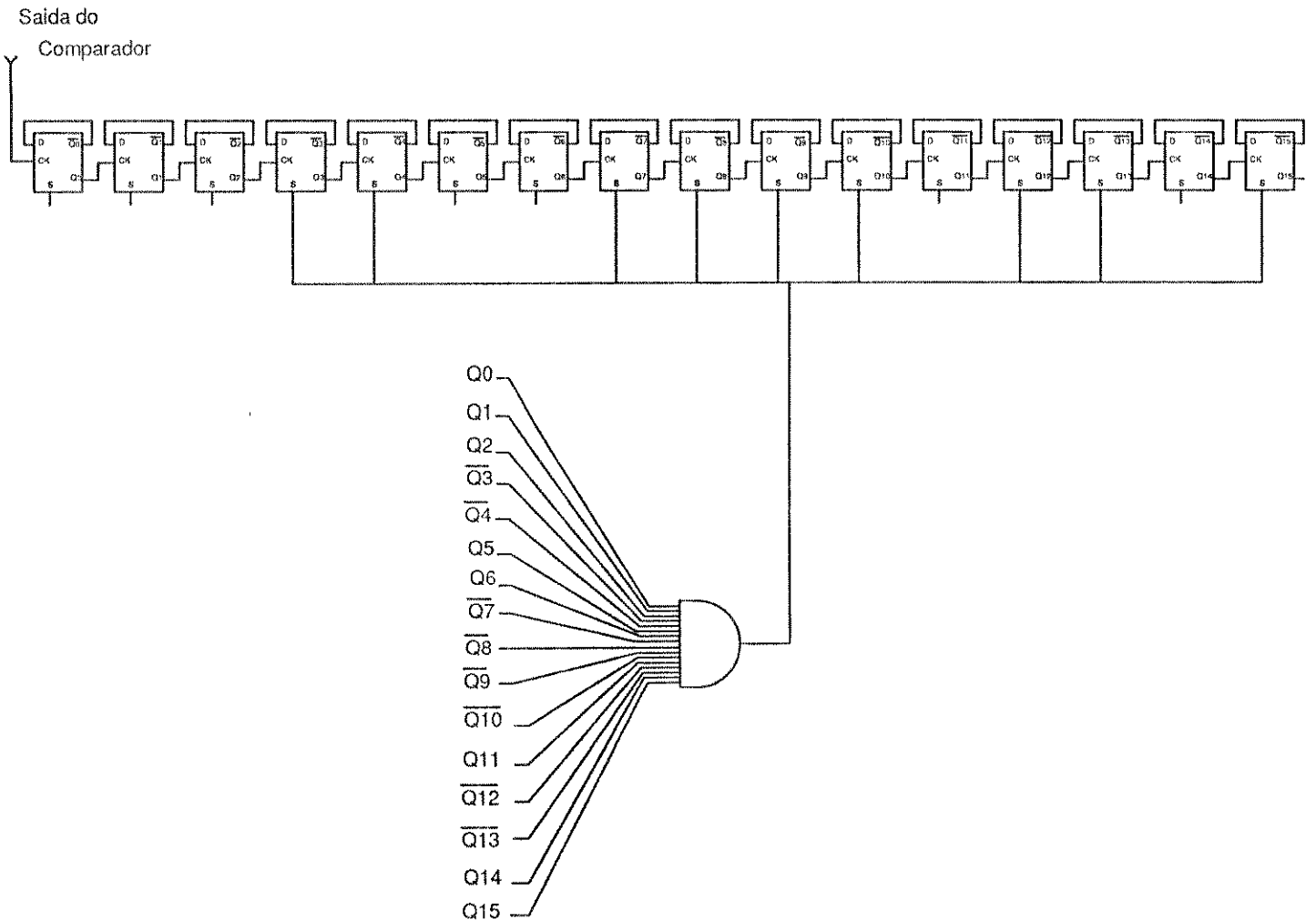


Fig.3.9 - Diagram em Blocos do Contador-1

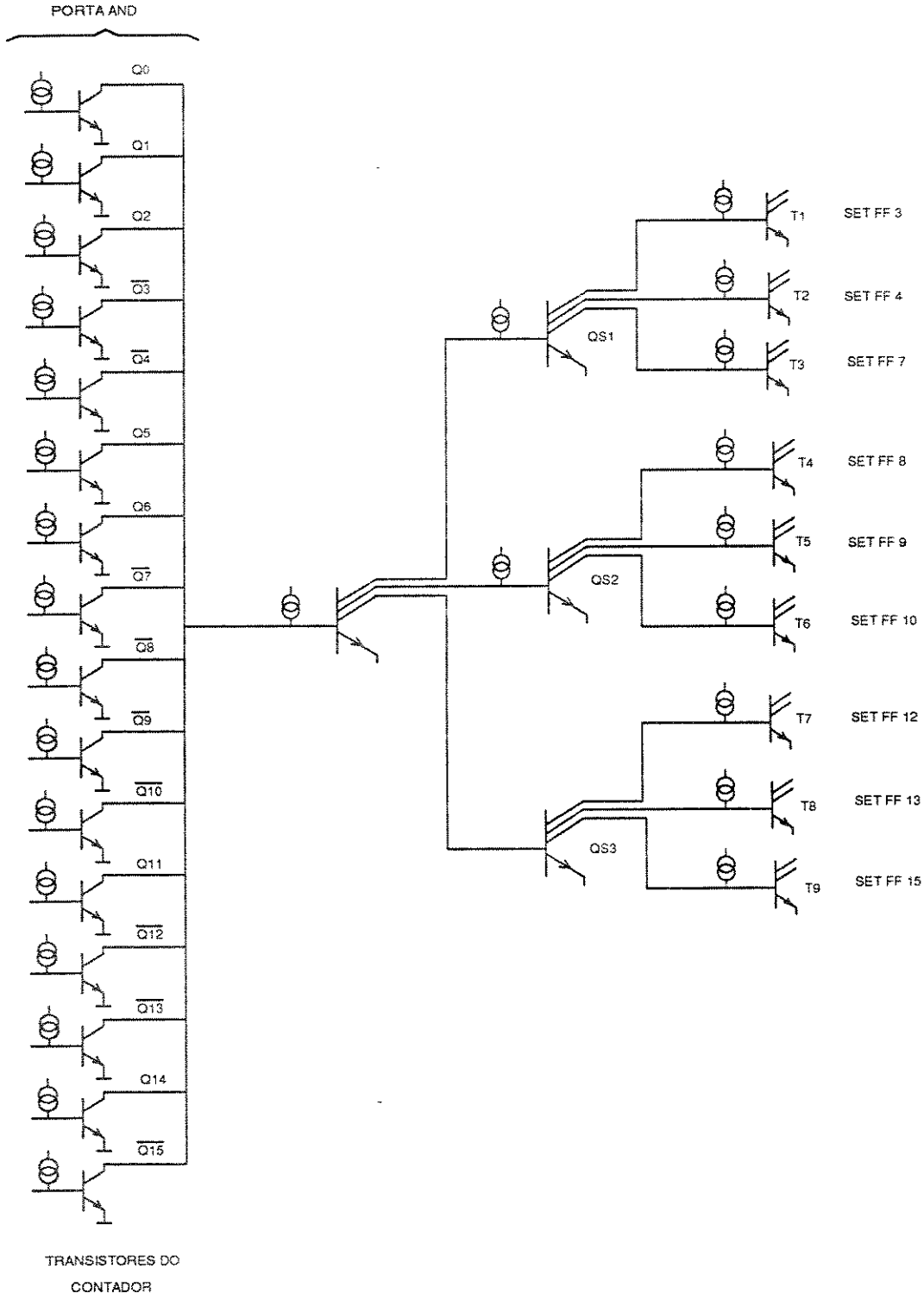


Fig.3.10 - Circuito I2L para zeragem do Contador-1

3.3.2.1. Esquema do Circuito em I2L para zeragem do 1º Contador:

O circuito de zeragem representado pela porta AND de 16 entradas e sua ligação aos set's dos flip-flops é mostrado, a nível de portas I^2L , na fig. 3.10. A porta AND I^2L é formada simplesmente pela ligação dos coletores dos transistores I^2L adicionais, incluídos nos flip-flops, correspondentes às saídas Q_0, Q_1, Q_2, $\overline{Q}_3$, $\overline{Q}_4$, Q_5, Q_6, $\overline{Q}_7$, $\overline{Q}_8$, $\overline{Q}_9$, $\overline{Q}_{10}$, Q_{11}, $\overline{Q}_{12}$, $\overline{Q}_{13}$, Q_{14} e $\overline{Q}_{15}$. Esta porta AND deve ser capaz de drenar correntes dos transistores T1 a T9, que representam os set's dos flip-flops. O esquema da fig. 3.10 foi elaborado levando-se em conta três fatores:

- Cada coletor ou conjunto de coletores ligados podem drenar corrente somente de uma base.
- A porta I2L básica contém somente quatro transistores I2L e foi estabelecido um fanout de 4 para esta porta (por questão de segurança espera-se que o transistor I2L tenha ganho de corrente igual a 1).
- O set do flip-flop está normalmente ativo se sua entrada está desconectada.

De acordo com o circuito da fig. 3.10 podemos observar que, se a saída da porta AND I^2L estiver no nível lógico 0, os transistores Q_{S1}, Q_{S2} e Q_{S3} conduzirão, fazendo que os transitores T_1 a T_9 permaneçam cortados. Após o 47000º pulso a saída da porta AND vai para o nível lógico 1, levando os transistores Q_{S1}, Q_{S2} e Q_{S3} ao corte e,consequentemente, acionando todos os SET's.

3.3.2.2. Entrada do Contador 1:

Enquanto houver fluxo de água pelo hidrômetro, o transistor de saída do comparador será chaveado fornecendo pulsos ao clock do primeiro contador. Quando este transistor conduz, o sinal de clock no primeiro flip-flop passa do estado 0 ao 1, alterando o contador, uma vez que o flip-flop D é sensível a borda de subida do clock (Fig.3.11)..

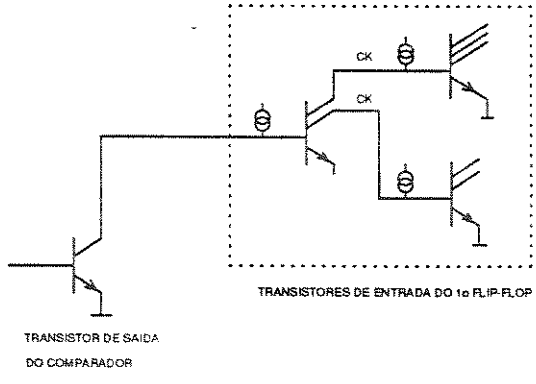
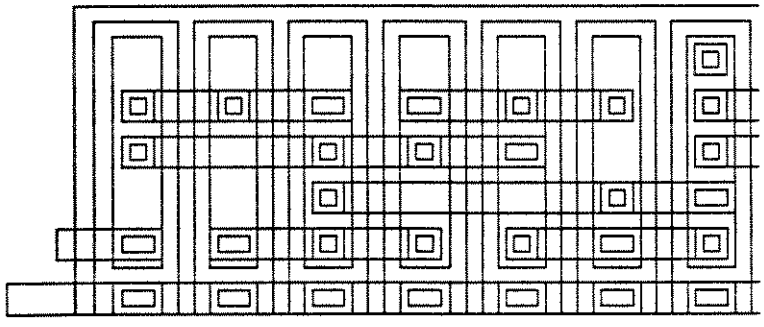
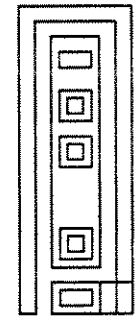


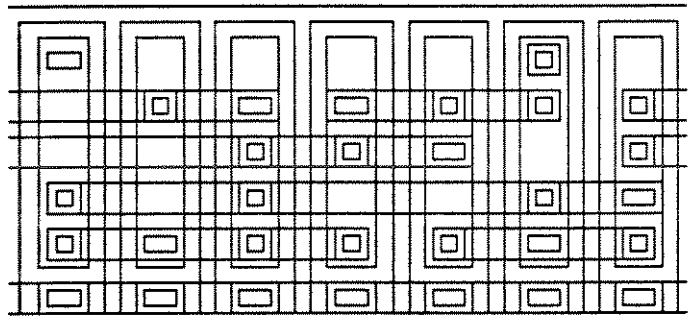
Fig.3.11 - Interface Comparador/Contador-1



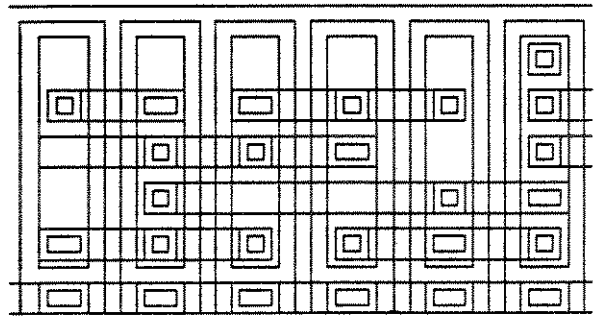
(a) - Celula C1-1



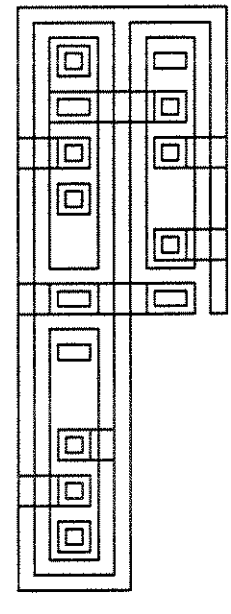
(d) - Celula C1-4



(b) - Celula C1-2



(c) - Celula C1-3



(e) - Celula C1-5

Fig.3.12 - Células básicas do Contador-1

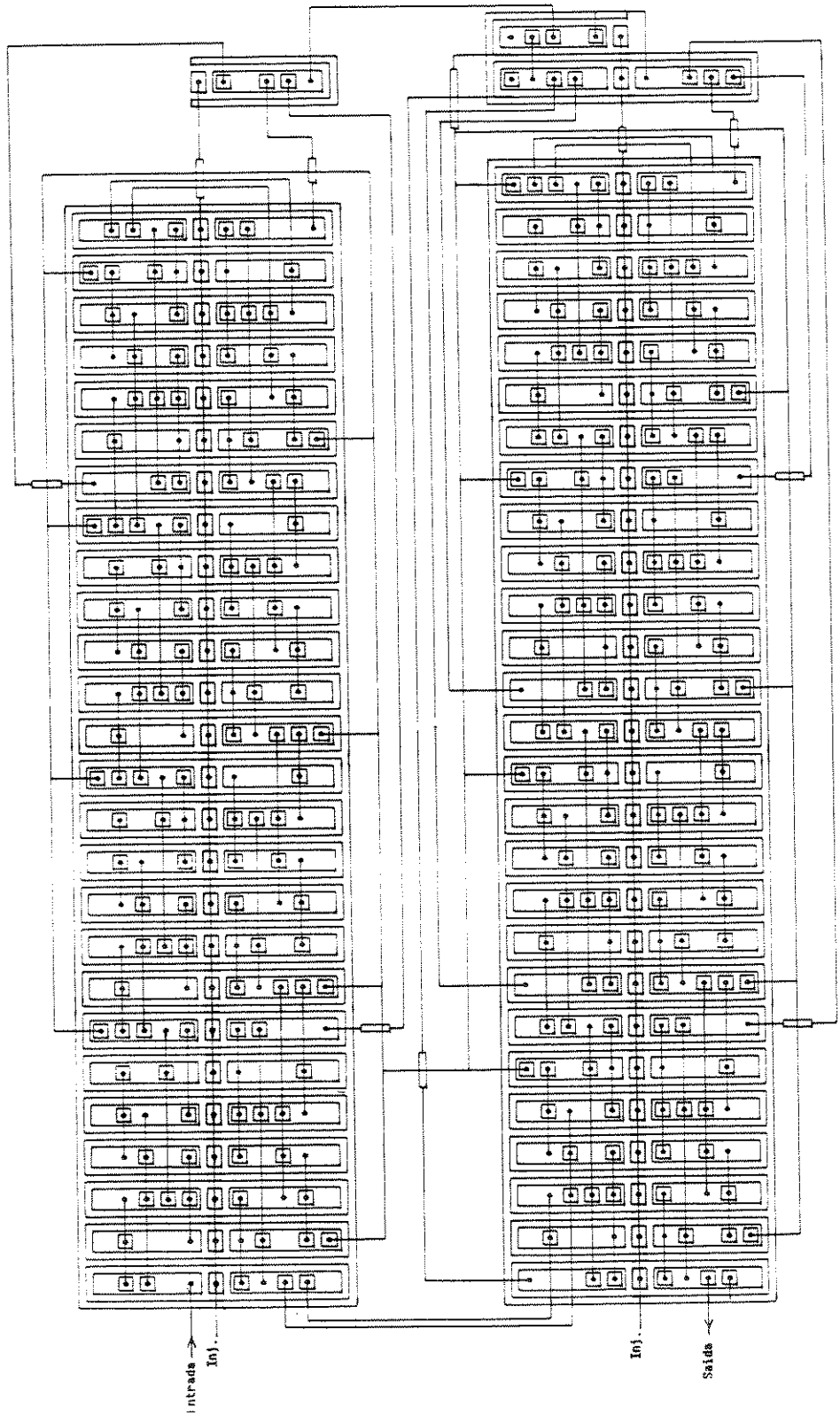


Fig.3.13 - Layout simplificado do Contador-1

3.3.2.3. Saída do Contador -1:

O clock do segundo contador é fornecido pela saída do primeiro contador (Q_{15}). A saída Q_{15} estará no estado 1 no início da contagem, mudará para zero e após o último pulso voltará ao estado 1. Após o último pulso, haverá uma mudança de 0 para 1 em Q_{15} acionando o segundo contador.

Na fig. 3.12 são apresentadas as células básicas (layout) que compõem o Contador-1 e, na fig. 3.13, o layout completo (simplificado) do mesmo.

3.3.3. Contador 2 (0 a 9.999 m^3)

As saídas deste contador conterão a informação de consumo de água a ser decodificada e registrada na leitora. O clock deste contador recebe um pulso a cada consumo de 1 m^3 de água. Como a leitura máxima especificada é 9.999 m^3, ele deverá contar até 9.999 pulsos

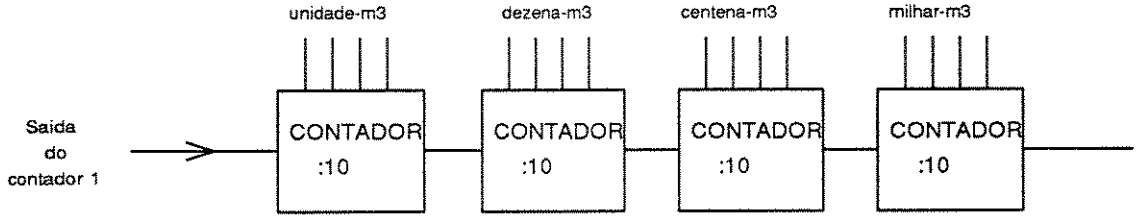


Fig.3.14 - Diagrama em Blocos do Contado-2

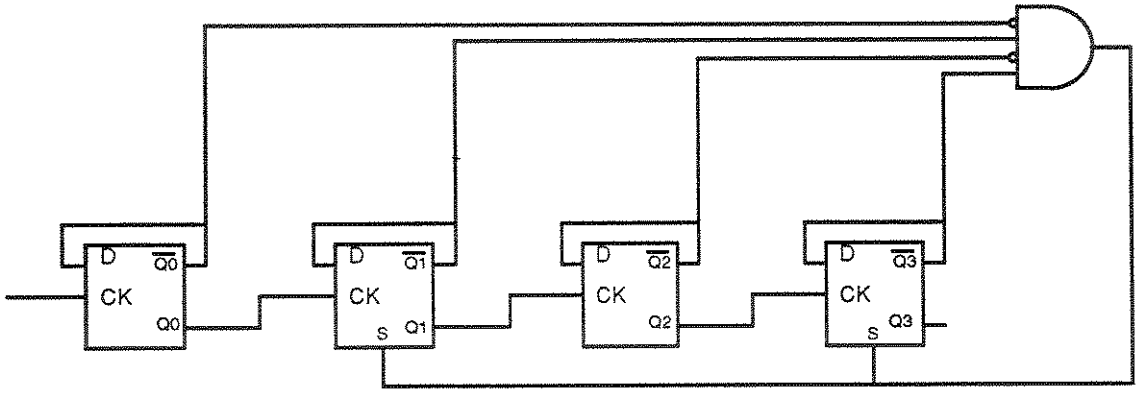


Fig.3.15 - Esquema do Contador de década

O contador é formado por quatro contadores de década ligados como um divisor por 10.000. A saída do contador em BCD facilitará a decodificação na leitora. O esquema geral do contador é mostrado na fig. 3.14. Os contadores de década são formados por quatro filp-flops D e têm suas saídas em $\overline{Q}$ (fig.3.15).

3.3.3.1. Esquema do Circuito em I2L para Zeragem do Contador-2:

Analogamente ao que foi apresentado para o contador-1, temos a configuração do circuto em I^2L que deverá zerar as saídas dos contadores de década após o $10^{\underline{o}}$ pulso. A porta AND, neste caso, também é formada por transistores adicionais que fazem parte dos flip-flops. Na fig. 3.16 verificamos que se a saída da porta AND I^2L está no nível lógico 0, os transistores S1A e S3A conduzirão fazendo que que os transistores S1 e S3 permaneçam cortados. Após o $10^{\underline{o}}$ pulso a saída da porta AND irá para o nível 1, levando os transistores S1A e S3A ao corte e, consequentemente, ativando os sets (S_1 e S_3). Os transistores S1A e S_1, fazem parte do flip-flop 1 e os transistores S3A e S3 fazem parte do flip-flop 3, em cada contador de década.

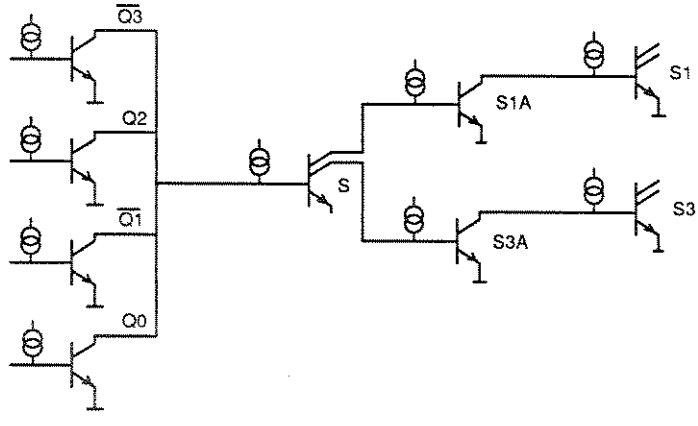
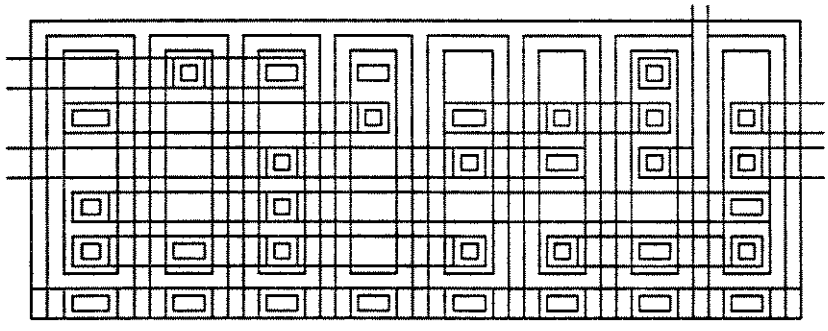
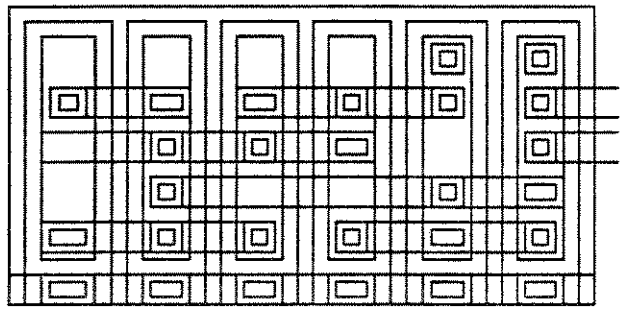


Fig.3.16 - Circuito para zeragem do Contador-2

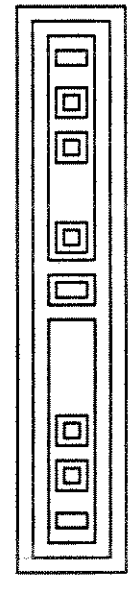
Na fig. 3.17 temos os layout's das células básicas dos flip-flops que formam os contadores de década. Na fig. 3.18 é mostrado o layout para dois contadores de década em cascata e, na fig. 3.19, o layout completo do contador-2, formado pelos quatro contadores de década em cascata, com saídas de I_0 a I_{15}.



(a) - Celula C2-1



(b) - Celula C2-2



(c) - Celula C2-3

Fig.3.17 - Células básicas do Contador-2

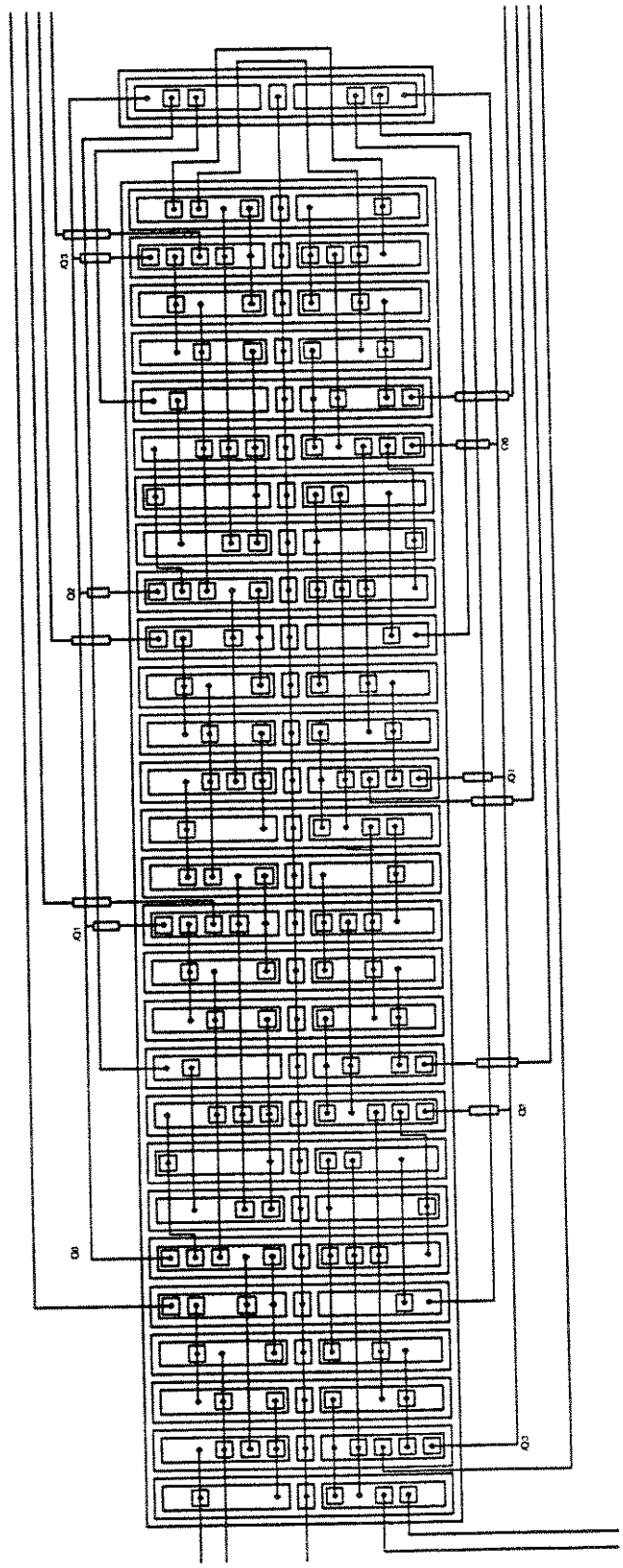


Fig. 3.18 - Layout simplificado (2 contadores em cascata)

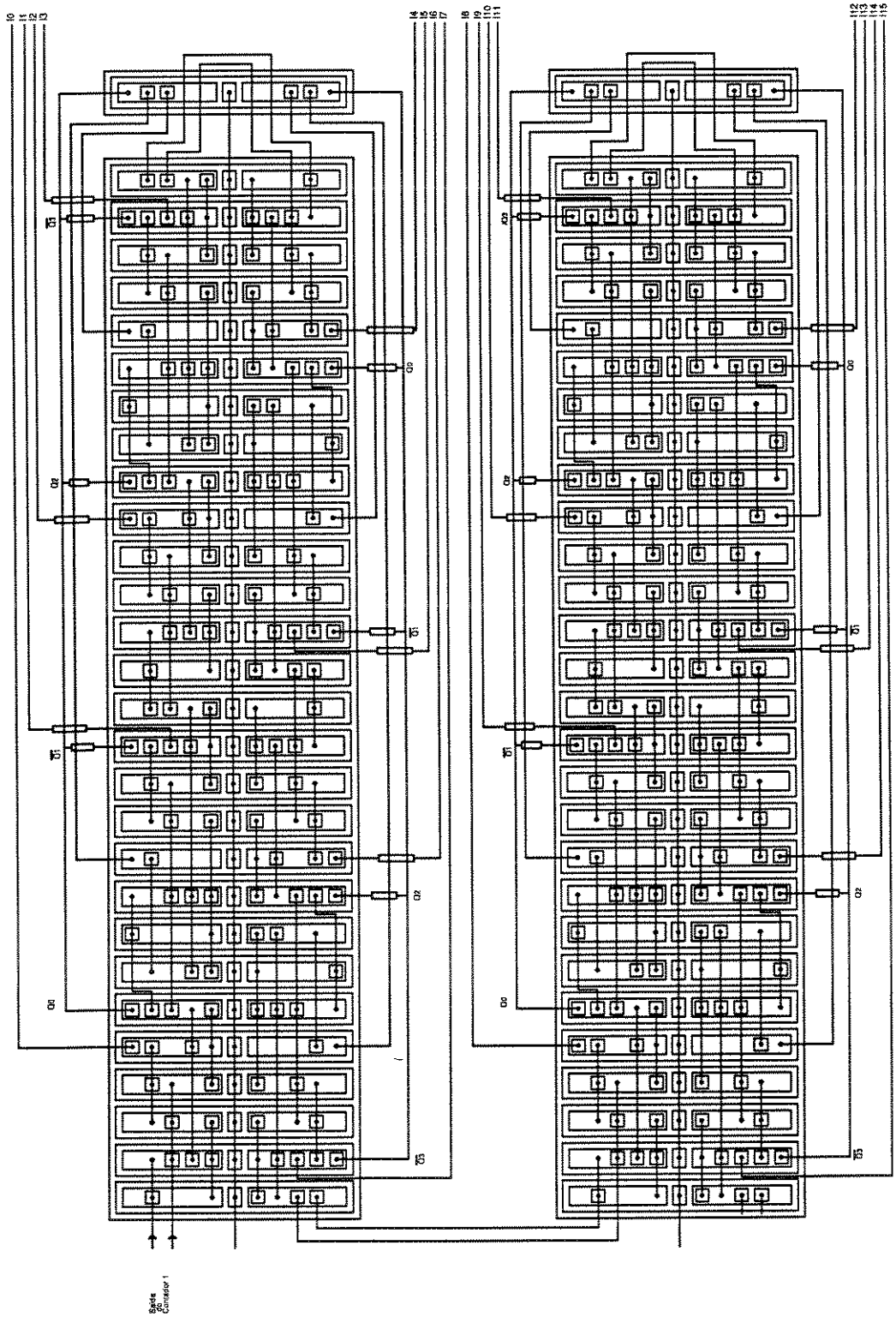


Fig.3.19 - Layout simplificado do Contador-2

3.4. Transmissão de Dados para a Leitora

A transmissão dos bits do contador-2 para a leitora será serial. Para isso, será usado um multiplex de 16 canais,cujas entradas de seleção serão acionadas pelas saídas de um contador de quatro bits. Este contador receberá o sinal de clock vindo da leitora, comandando a saída sequencial dos bits.

O acoplamento entre hidrômetro e leitora dar-se-á por meio de acopladores óticos, tanto para a saída de dados como para a entrada do sinal de clock da leitora para o multiplex.

Haverá, também, um acoplador magnético, conforme visto na fig. 3.20, para suprir uma tensão de auxílio necessária no momento da transmissão de dados. Esta tensão será usada para desativar os SET's (normalmente ativos) do contador de quatro bits e como alimentação do coletor do transistor de saída I^2L, evitando neste caso, consumo de corrente excessivo da bateria para chaveamento do foto-diodo.

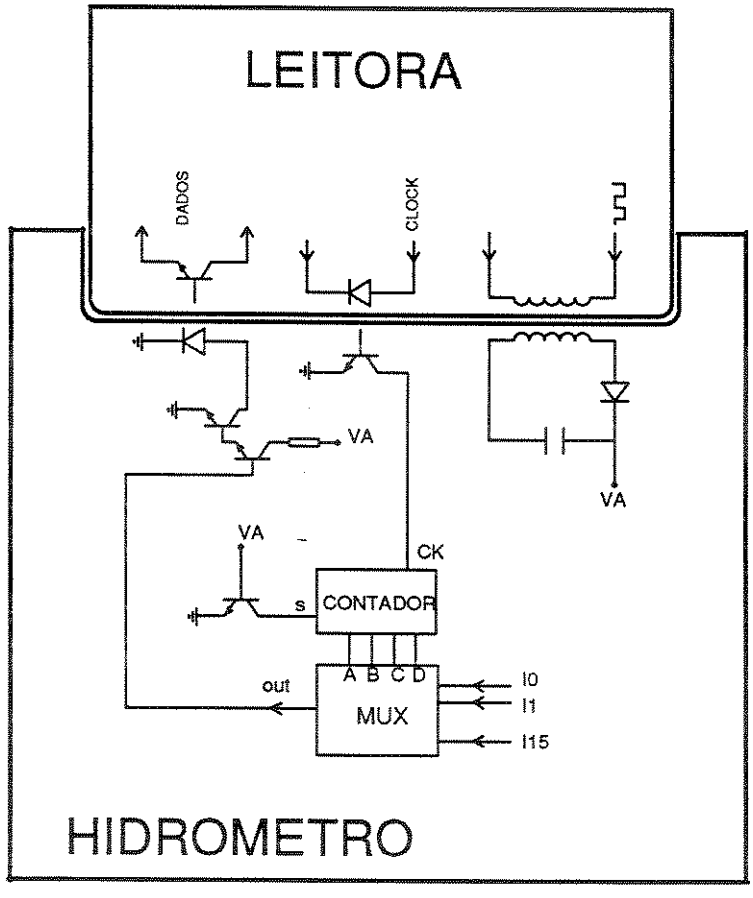


Fig.3.20 - Interface Leitora/Hidrômetro

3.4.1. Multiplex

O esquema do MUX visto na fig.3.21 é composto por um decodificador, portas AND com duas entradas e uma porta OR de 16 entradas. A seguir veremos a implementação do MUX com portas I^2L

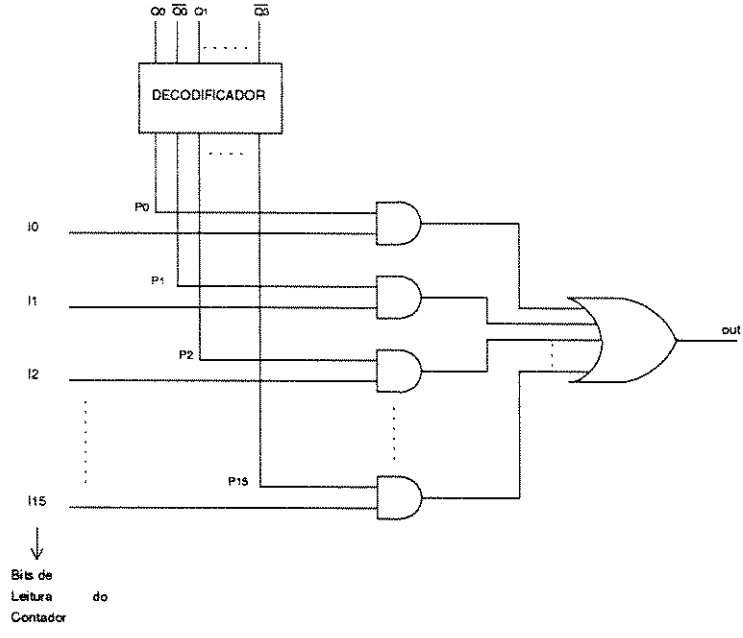


Fig.3.21 - Diagrama em Blocos do Mux

3.4.2. Decodificador

Nas figs. 3.22a, 3.22b e 3.23 vemos respectivamente o esquema lógico com portas AND, esquema elétrico e layout completo com portas I2L do decodificador.

3.4.3. Contador para Geração de Entradas de Seleção Automáticas do MUX

Este contador é formado por quatro flip-flops D ligados como divisor por 16. Seus quatro bits de saída serão as entradas de seleção do MUX. O clock será acionado por um sinal vindo da leitora, composto por 16 pulsos. A cada pulso selecionar-se-á um bit que será transmitido a leitora, de modo que após os 16 pulsos terão sido transmitidos todos os bits de leitura sequencialmente (I_0 a I_{15}).

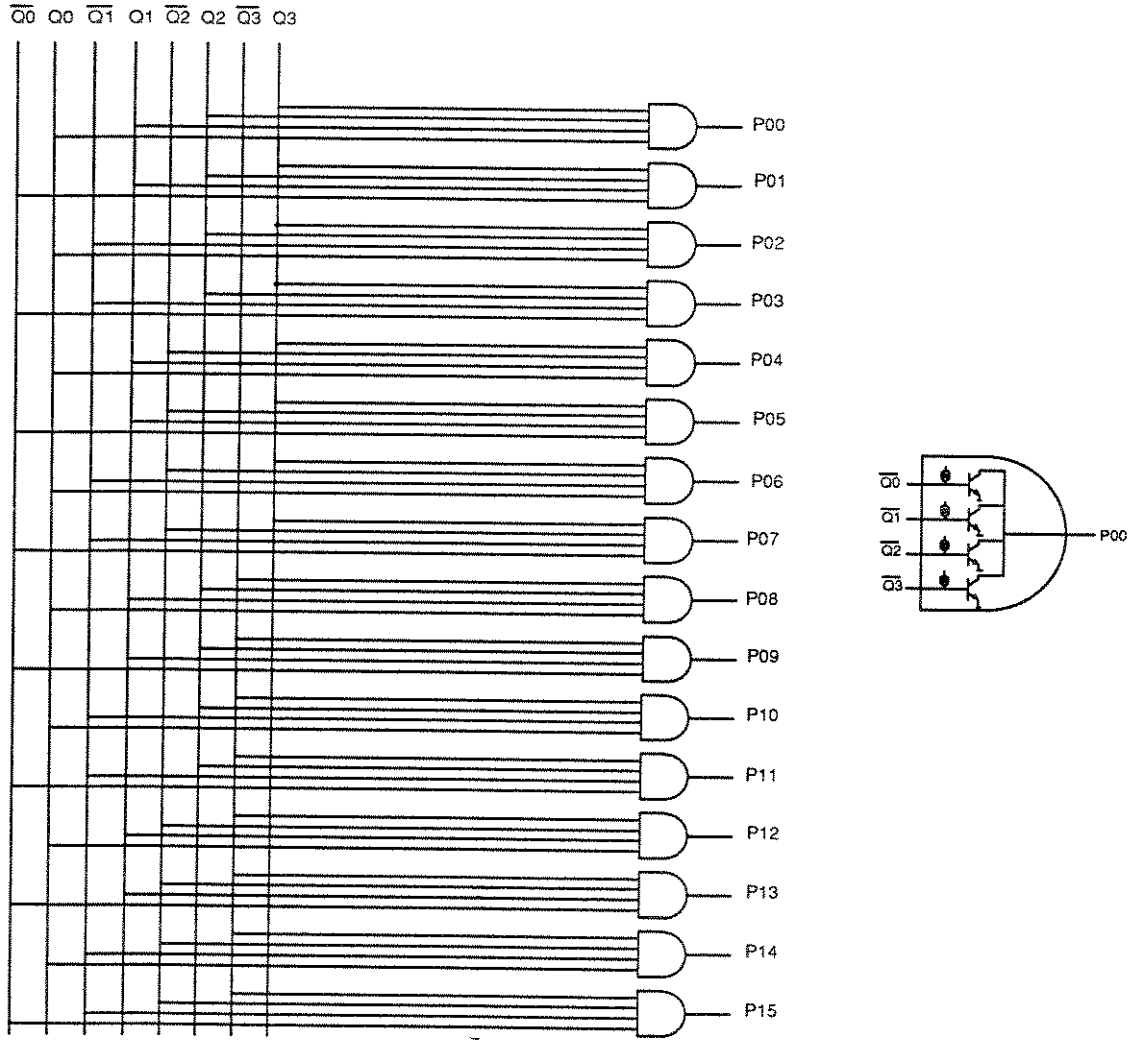


Fig.3.22a - Esquema lógico do Decodificador

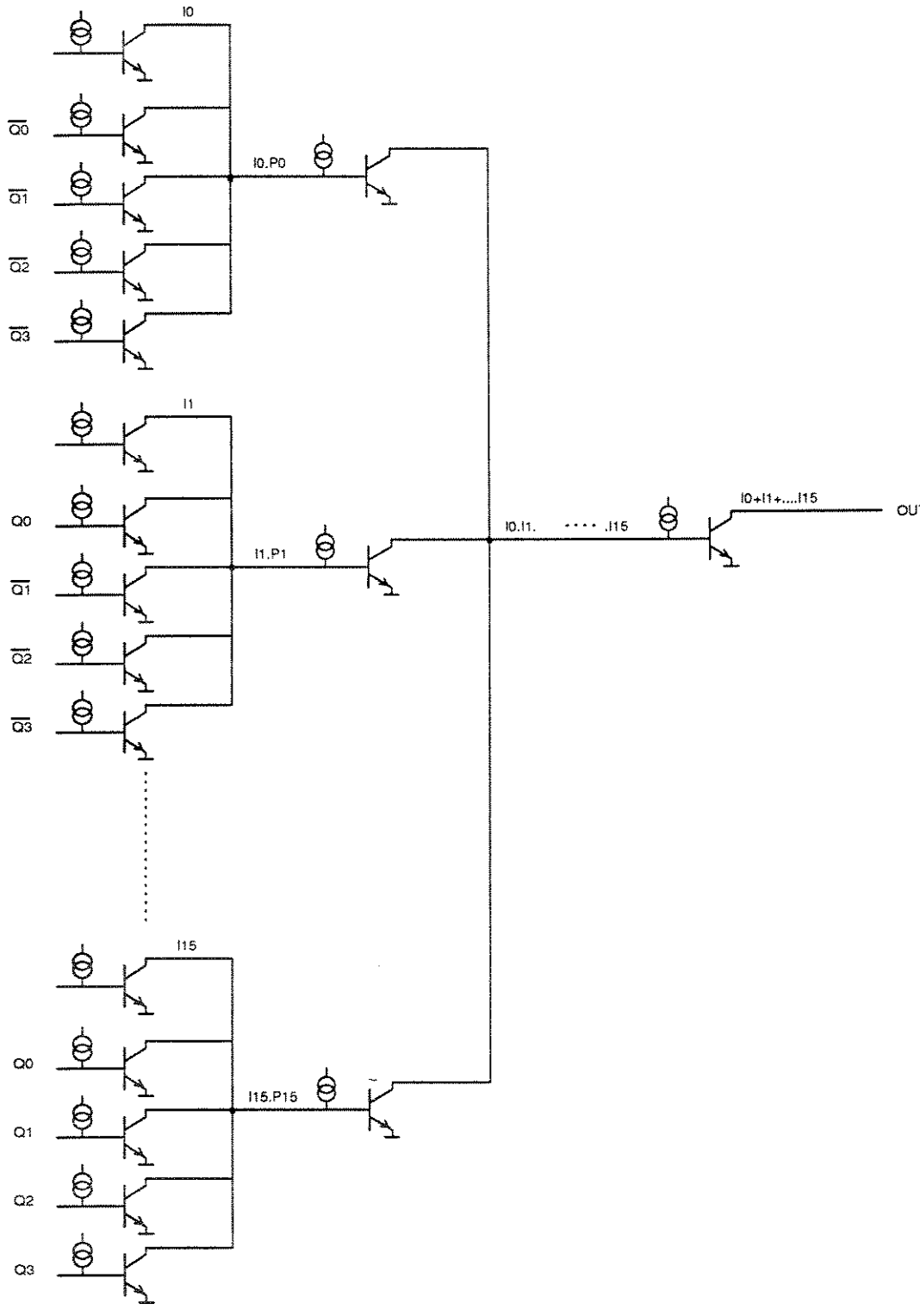


Fig.3.22b - Esquema Elétrico do MUX

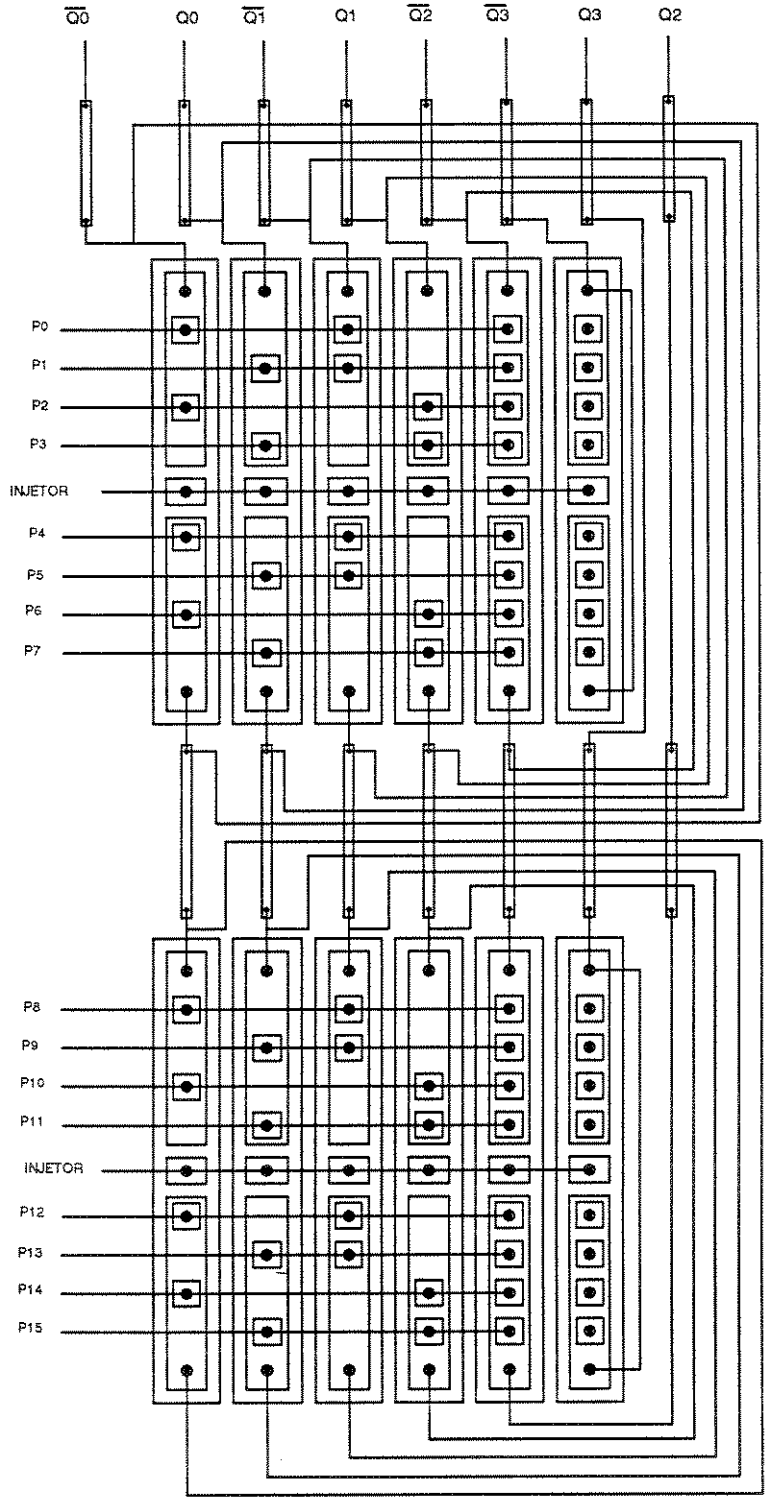
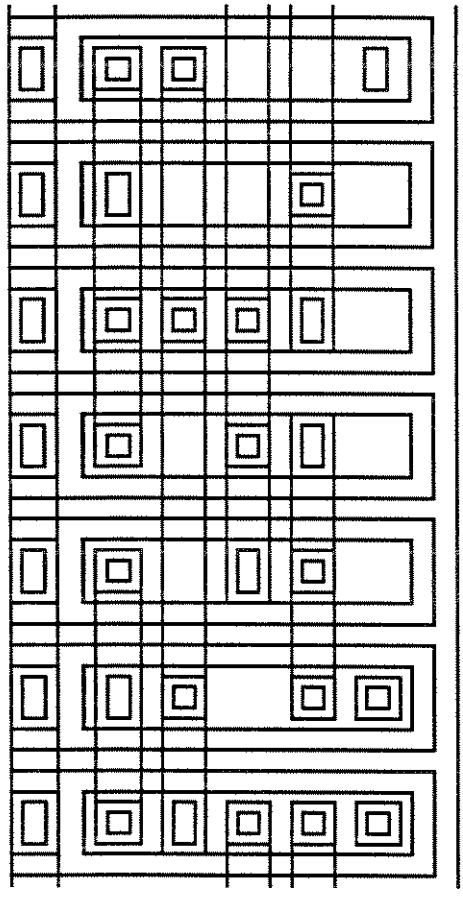
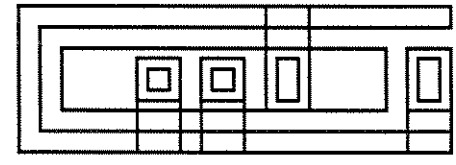


FIG.3.23 - DECODIFICADOR

Na fig.3.24 temos os layouts das células básicas que compõem o contador e na fig.3.25 temos o layout completo.



(a) - Celula C3-1



(b) - Celula C3-2

Fig.3.24 - Células básicas do Contador do MUX

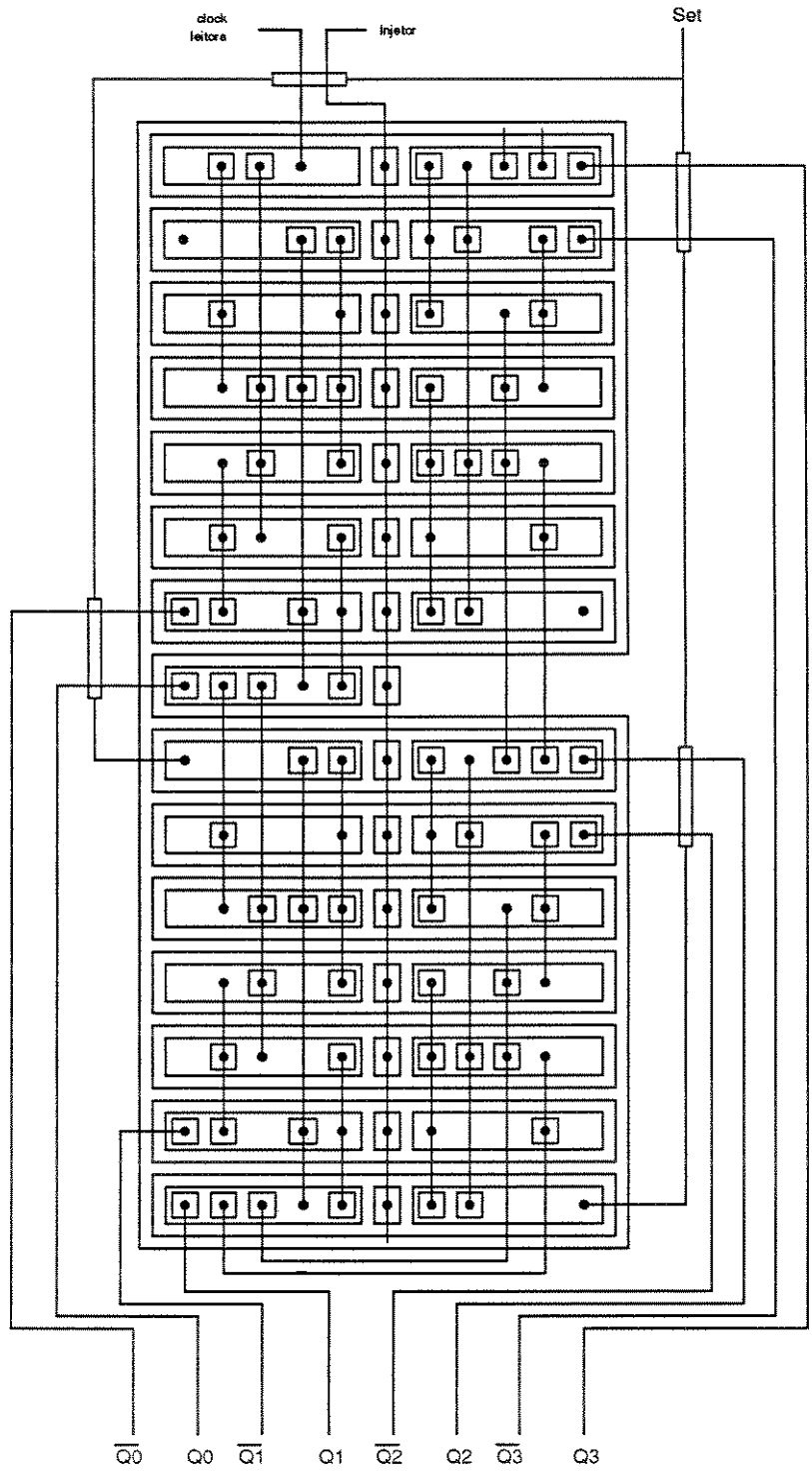


Fig.3.25 - Layout simplificado do Contador do MUX

Capítulo 4

Resultados Experimentais e Conclusões

4.1. Teste do Sensor e Condicionador de Sinal

Como o funcionamento do sensor proposto era de difícil avaliação a utilização desse tipo de sensor poderia, eventualmente, ser impossível (principalmente no que se refere às dificuldades de detecção do sinal), foi realizado o teste do conjunto sensor/condicionador de sinal (amplificador e comparador).

Para a realização dos testes, adaptamos um hidrômetro convencional para receber o sensor, sendo que o circuito de condicionador de sinal foi montado em uma placa externa. Para a montagem do circuito do condicionador de sinal foram utilizados "arrays" de transistores integrados, do tipo CA 3046 (NPN) e CA 3084 (PNP), para simular as condições mais reais possíveis no que diz respeito a confecção do circuito integrado em tecnologia bipolar.

A alimentação do circuito do condicionador de sinal foi realizada através de duas pilhas de 1,5V, como previsto no anteprojeto. O circuito do condicionador foi também testado com uma fonte de alimentação externa, para que a tensão de alimentação pudesse ser variada, simulando um desgaste das baterias.

Neste teste, verificamos que o circuito operou de maneira correta até que a alimentação caísse a 2 volts, ou seja, uma queda de tensão de 0.5 volts em cada pilha. Como o circuito praticamente não consome corrente nos terminais de terra, a corrente consumida será drenada quase que simetricamente das duas pilhas (+1,5V e -1,5V), fazendo com que o desgaste das baterias seja igual.

O sistema foi testado para vários fluxos de água, apresentando comportamento normal. O teste mais importante, no entanto, foi o com fluxo mínimo, que é onde o hidrômetro convencional apresenta problemas. Pela especificação SABESP, o

hidrômetro deve ser capaz de operar quando o consumo é de apenas 30 litros/hora, o que corresponde a aproximadamente 1410 voltas por hora da turbina (0,39 Hertz).

O sistema desenvolvido foi testado, e apresentou resultados de medida corretos, com fluxos de até 20 litros/hora, o que corresponde a uma frequência de rotação da turbina de aproximadamente 0,1 Hz. Em alguns dos hidrômetros testados foi possível medir fluxos de cerca de 15 litros por hora.

Nesta faixa de consumo, no entanto, alguns dos hidrômetros testados, mesmo quando desprovidos do sistema eletrônico, que age como um freio eletromagnético, não giravam com a passagem de fluxos abaixo de 20 litros/hora, o que mostra que, nesses níveis de fluxo, o sistema de turbina mecânica já não é mais confiável.

Na figura 4.1 são apresentadas as fotografias de tela de osciloscópio, dos sinais de saída do sensor (entrada do amplificador), saída do amplificador, histerese no comparador e saída do comparador, para o hidrômetro com o sensor magnético girando a com uma frequência de 0,1 Hz.

Com esses resultados, verificamos que o sistema proposto é perfeitamente viável, excedendo claramente as especificações desejadas para os hidrômetros SABESP. Podemos dizer que, praticamente, atingiu-se o limite mecânico do sistema de turbina, sendo que futuros desenvolvimentos deverão utilizar outro sistema de detecção de passagem de água, o que significa desenvolver um novo tipo de hidrômetro

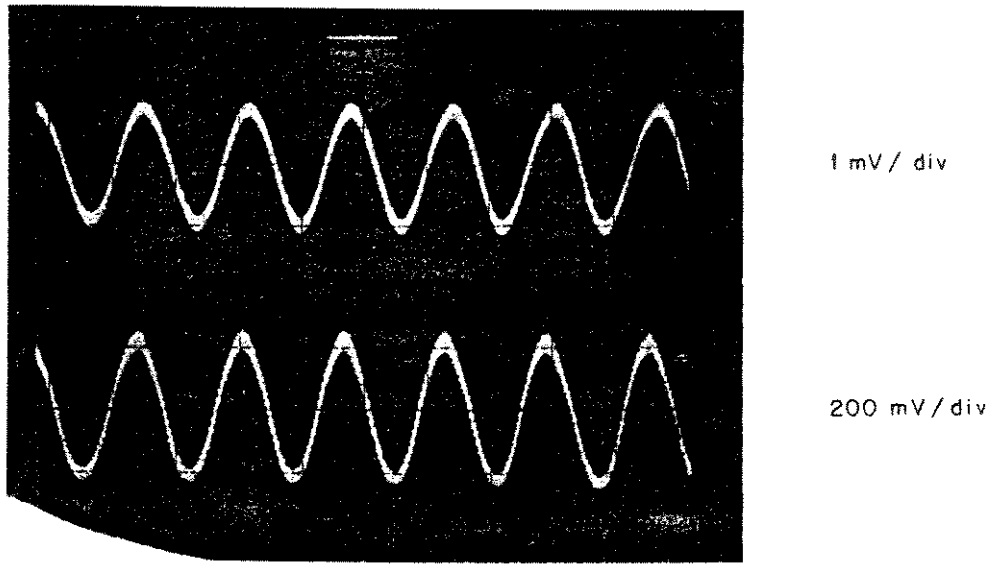


Fig. 4.1 (a) - Fotografia de tela de osciloscópio mostrando os sinais na entrada e na saída do amplificador.

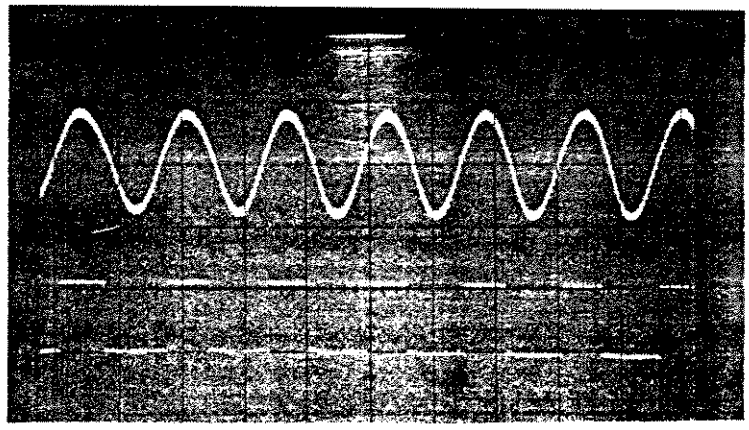


Fig. 4.1. (b) - Fotografia de tela de osciloscópio mostrando os sinais de entrada e saída do comparador.

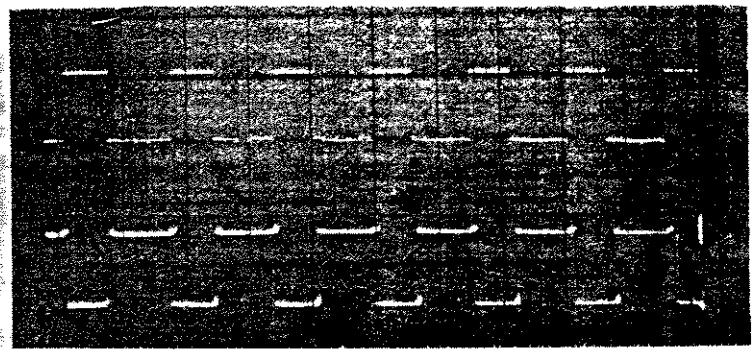


Fig. 4.1 (c) - Fotografia de tela de osciloscópio mostrando os sinais de saída e histerese no comparador.

4.2. Conclusões

Foi feito um estudo de viabilidade de confecção de um sistema de medição eletrônica para hidrômetros, incluindo-se o sensor, o condicionador de sinal e o circuito digital para contagem de pulsos e comunicação com uma leitora eletrônica. Para uma melhor avaliação do sensor e condicionador de sinal, foram realizados testes experimentais, com hidrômetros convencionais e circuitos montados com "arrays" de transistores integrados.

Os resultados do teste do sensor e condicionador de sinal são muito promissores, visto que o sistema apresentou um resultado que supera as características hoje encontradas nos hidrômetros mecânicos. Acreditamos que este sistema de sensor + condicionador possa vir a ser utilizado em futuros hidrômetros eletrônicos.

O projeto do circuito digital, em tecnologia I2L, mostrou que, mesmo utilizando regras de projeto bem conservadoras, o tamanho de um CI dedicado deverá ser perfeitamente compatível com as tecnologias convencionais para fabricação de circuitos integrados, mesmo que o CI do projeto final venha a incorporar mais funções que as incluídas neste anteprojeto.

Como sugestão para futuros desenvolvimentos, destacamos o problema de comunicação da leitora com o hidrômetro, que embora possa vir a ser realizado por via óptica, como aqui sugerido, pode trazer problemas devido à dificuldades com a leitura, principalmente por sujeira que possa se acumular no hidrômetro.

Uma eventual restrição quanto ao uso de comunicação óptica, seria em relação ao preço e ao consumo do conjunto de emissor de infra-vermelho e fototransistores. Embora isso possa ser resolvido (através da integração dos fotodiodos no próprio CI bipolar e pela utilização de "duty-cicles" muito baixos para a alimentação dos emissores de luz), o problema de manter limpo o hidrômetro, para que a leitura dos dados possa ser realizada sem erros de comunicação entre a leitora e o hidrômetro, é bastante imprevisível.

Uma sugestão para a substituição do sistema de comunicação óptica, que atualmente já está sendo investigada, é a utilização de um acoplamento magnético para transmissão e recepção de dados entre o hidrômetro e a leitora.

BIBLIOGRAFIA

1. Linear Compatible I2L Technology with High Voltage Transistors, G. Bergmann , IEEE JSSC, VOL SC12, Out. 1977.

2. Processing Technology and AC/DC Characteristics of Linear Compatible I2L, J. Saltich et al, IEEE JSSC, VOL SC11, Aug 1976.

3. I2L takes bipolar integration a significant step forward, R. L. Horton,Electronics, Feb 06, 1975

4. I2L LSI design with Mask Programmable Arrays, L. Chan and E. Coussens, WESCON TECH PAPERS, September 1977.

5. Basic Integrated Circuit Engineering, Hamilton & Howard, McGraw-Hill, 1975

6. Circuits Integrés Lineaires:Principes et applications, H. Lillen, Editions Radio, Paris 1978.

7. Integration of Analogue Electronic Circuits, J Davidse, Academic Press, 1979.

8. Operational Amplifiers:Design and applications, J Graeme et al, McGraw Hill Kogakusha, 1971.

9. Desenvolvimento de um Circuito Integrado para Hidrômetros Eletrônicos, M.R. de Oliveira et al, II Congresso da sociedade Brasileira de Microeletrônica, São Paulo, Julho de 1987.