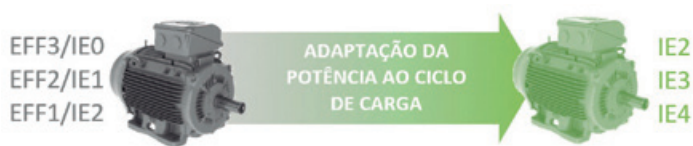


# rebobinagem otimizada de motores de indução trifásicos alimentados diretamente da rede

Fernando J. T. E. Ferreira e Aníbal T. de Almeida  
 Instituto de Sistemas e Robótica  
 Dep. de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
 Universidade de Coimbra



**Neste artigo, é descrita uma estratégia para aumentar o rendimento e o fator de potência dos motores de indução trifásicos sobredimensionados e alimentados diretamente da rede. Esta estratégia, designada de rebobinagem otimizada, combina a monitorização, o reprojetado otimizado dos enrolamentos estatóricos e a rebobinagem dos motores.**

Quando aplicada a motores com uma carga máxima inferior a 50%, permite reduzir entre 5% e 20% o respetivo consumo energético, apresentando-se como uma excelente alternativa à rebobinagem convencional e ao investimento em motores novos de classes IE3 e IE4. A sua operacionalização é simples e rápida. O tempo de retorno do investimento adicional em relação à rebobinagem convencional é, em média, inferior 6 meses. Para além disso, a rebobinagem otimizada está em linha com os princípios subjacentes à economia circular, promove a economia local associada às empresas de rebobinagem e poderá contribuir para a diminuição da importação de motores novos.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente, no sector industrial, em média, cerca de 70% da energia elétrica é convertida em energia mecânica através de motores de indução trifásicos (MIs), 75% dos quais são alimentados diretamente da rede, i.e., não estão equipados com conversor de frequência. A carga<sup>1</sup> média destes motores é de 60%, podendo-se, por isso, afirmar que grande parte dos mesmos está sobredimensionada e, consequentemente, o seu rendimento e o seu fator de potência são relativamente baixos. De facto, nos MIs de baixa e média potência, há um decréscimo muito acentuado do rendimento e do fator de potência para cargas inferior a 50%.

Em geral, os MIs com uma potência nominal entre 4 e 75 kW são rebobinados 2 a 3 vezes ao longo do seu tempo de vida útil que varia entre 12 e 20 anos<sup>2</sup>, dependendo da sua potência nominal. Em geral, quanto

maior a potência nominal do motor, maior o seu tempo de vida útil. Em Portugal, o custo de uma rebobinagem convencional de um MI é entre 30% e 50% do custo de um motor novo, dependendo da classe de rendimento, da potência e do número de polos deste último. Tipicamente, no processo de rebobinagem, o valor da venda do cobre dos enrolamentos velhos para reciclagem é muito próximo do valor despendido na compra de fio cobre esmaltado para os novos enrolamentos, pelo que o custo total da rebobinagem convencional depende maioritariamente da energia gasta e da mão-de-obra. Para além disso, os MIs mais eficientes, por forma a terem uma menor resistência estatórica, têm mais cobre (maior secção de condução), sendo por isso, em parte, mais caros. Porém, uma vez que esse custo adicional do cobre não se reflete no custo da rebobinagem, esta torna-se mais competitiva para motores de classes de rendimento mas elevadas.

Refira-se que, tipicamente, numa rebobinagem convencional, os enrolamentos estatóricos não são otimizados, sendo feita uma cópia dos enrolamentos originais, por forma a manter a potência original do motor.

Apesar de na União Europeia já não ser permitida a venda de MIs de classes inferiores à IE3 para a gama de potência entre 0,75 kW e 1 MW, a população de motores em funcionamento na indústria é ainda dominada por motores de classes EFF3/"IE0", EFF2/IE1 e EFF1/IE2. Acresce ainda que, com a atual massificação dos sistemas de monitorização na indústria, que podem medir facilmente as correntes, tensões e potência ativa dos motores, torna-se cada vez mais fácil aferir o respetivo ciclo de carga. Assim, há uma oportunidade para melhorar o desempenho dos MIs aquando da sua rebobinagem através do reprojetado otimizado dos seus enrolamentos tendo em conta o seu ciclo de carga real.

## II. REBOBINAGEM OTIMIZADA

A rebobinagem otimizada (RO) apresenta-se como uma medida económica para reduzir o consumo energético dos MIs alimentados diretamente da rede, evitando o investimento em motores novos de classes IE3 e IE4. O seu princípio é simples. Se a carga máxima, média ou dominante ao longo de um ciclo de carga típico de um MI for inferior a 50%, é possível ajustar/reduzir a sua potência à carga através de um reprojetado otimizado dos seus enrolamentos estatóricos, garantindo que as perdas do motor não excedem o valor nominal original no ponto de carga máxima e que o motor consegue arrancar diretamente da rede num tempo aceitável. Esta redução da potência do motor conduz à minimização da potência e da corrente por ele absorvidas, bem como a um aumento significativo do fator de potência. Tal deve-se, em grande parte, à redução do fluxo magnetizante e do nível de saturação do núcleo ferromagnético do motor.

Para além disso, os enrolamentos também podem ser otimizados com objetivo de se reduzir o tamanho das testas das bobinas, aumentar

1 A carga de um motor é dada pelo quociente entre a potência mecânica desenvolvida no seu veio e a sua potência nominal. Por exemplo, um motor de 5,5 kW que desenvolve no seu veio 2,2 kW tem uma carga de 40%.

2 Na verdade, há motores em funcionamento com mais de 40 anos.